

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

LUIS ALBERTO BERTOLUCCI PAES

**PROSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA
BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA NO BRASIL**

**BAURU/SP
2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PROSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA
BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA NO BRASIL**

*Tese de Doutorado apresentada como exigência para
obtenção do título de doutor no programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus
Bauru, sob orientação da Prof. Dra. Barbara Stolte
Bezerra e coorientação do Prof. Dr. Daniel Jugend*

BAURU/SP
2023

P126p

Paes, Luis Alberto Bertolucci

PROSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO
DE UMA BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA NO
BRASIL / Luis Alberto Bertolucci Paes. -- Bauru, 2023
322 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru
Orientadora: Barbara Stolte Bezerra
Coorientadora: Daniel Jugend

1. Biosimbiose Urbana. 2. Economia Circular. 3. Índice
Composto. 4. Análise de decisão multicritério. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE LUIS ALBERTO BERTOLUCCI PAES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 03 dias do mês de março do ano de 2023, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de LUIS ALBERTO BERTOLUCCI PAES, intitulada **Prospectivas para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular urbana Brasileira**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professora Doutora BARBARA STOLTE BEZERRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru UNESP Campus Bauru, Prof^a. Dr^a. REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru UNESP, Prof. Dr. RODRIGO SALVADOR (Participação Virtual) do(a) Engineering Technology and Didactics / Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Prof. Dr. DANIEL BARCELOS VARGAS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Economia / FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS - FGV, Prof. Dr. VINÍCIUS PICANÇO RODRIGUES (Participação Virtual) do(a) Engineering Management / University of Strathclyde. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Professora Doutora BARBARA STOLTE BEZERRA

AGRADECIMENTOS

Com imensa alegria, tenho a honra de apresentar minha Tese de Doutorado. Essa conquista representa os frutos de uma longa jornada que abrange reflexões e experiências que irão me acompanhar por toda a vida. Acredito firmemente que a conclusão dessa etapa não seja meramente consequência do meu esforço individual, mas sim a soma da contribuição de todos aqueles que me auxiliaram ao longo do processo e se tornaram partes integrantes dessa conquista. Considero que nesse momento é imprescindível reconhecer e expressar todo o meu apresso a aqueles que me apoiaram e me auxiliaram por esse percurso.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer e dedicar essa conquista à minha mãe, Maria José Bertolucci, que em grande parte da minha vida desempenhou o papel de pai e mãe. Sua dedicação, apoio incondicional e amor moldaram meu caráter e mesmo sabendo que nenhuma palavra seja suficiente para expressar toda a minha gratidão, espero que esse pequeno gesto em forma de agradecimento possa refletir o imenso amor que sinto por você. Gostaria de agradecer também meu pai, Luiz Henrique de Mattos Paes, que infelizmente não está mais entre nós – *em memoriam*. Seu legado de integridade, valores e trabalho árduo sempre continuarão a me inspirar.

Agradeço aos meus orientadores, Doutora Barbara Stolte Bezerra e Doutor Daniel Jugend, que me guiaram com dedicação e empenho ao longo de todo o processo de pós-graduação. Por meio da nossa parceria, enfrentamos os desafios inerentes a pesquisa científica e conseguimos alcançar alguns resultados relevantes. Em especial, gostaria de expressar todo o meu carinho e admiração a professora Barbara. Sua generosidade ao me conceder a liberdade e confiança, por meio de uma abordagem inclusiva e respeitosa, criou um ambiente de aprendizagem estimulante e encorajador no qual me senti imensamente valorizado. Seu impacto na minha formação como pesquisador e como uma pessoa melhor é inegável. Serei eternamente grato por todas as valiosas lições.

Gostaria também de expressar o meu apreço aos professores doutores Vinícius Picanço, Daniel Vargas, Rodrigo Salvador e Regiane Máximo, por aceitarem o convite para integrar a banca de defesa e dedicarem seu tempo para me auxiliarem mesmo com suas agendas e compromissos profissionais. Suas observações, sugestões e críticas construtivas foram de extrema importância para elevar a qualidade e o rigor de pesquisa. Foi uma honra debater ideias com profissionais tão distintos em suas respectivas áreas de atuação. Agradeço

também a todos os participantes que colaboraram com o desenvolvimento da Estrutura de Modelagem Colaborativa de Valor por meio de opiniões, *insights* e respaldos, permitindo que a pesquisa reunisse uma ampla gama de informações relevantes. Cada contribuição teve um impacto positivo para garantir a legitimidade e a qualidade dos resultados obtidos.

Não poderia deixar de mencionar a importância dos meus amigos pesquisadores Fabiana Agudo, Rafael Deus, Jacqueline Franco, Fernanda Delgado, João Previdello, Fernanda Sartori, Ana Marielle Domingues, Gêssica Mina, Paula Fiorini, Hugo Santos, Patricia Froio, Aline Ferrari, Marina Aguiar, Rosane Rocha, Juliana Pereira e Lucivam Conde. A amizade de vocês é um presente valioso que guardarei com carinho. Além disso, expressei todo meu respeito aos professores Enzo Mariano, Fernando Souza, Hermes Moretti, Charbel Jabbour, Ana Beatriz Jabbour, Daniela Pigosso, Fenna Blomsma, Yovanna Saavedra e Dalia D'amato que me apoiaram gentilmente ao longo de todo processo. Vocês são exemplos de profissionais que desejo seguir. Agradeço em especial à professora Rosane Battistelle, por ter me motivado e depositado sua confiança ao me indicar como doutorando direto.

Por fim, gostaria de agradecer à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), que proporcionou um ambiente inclusivo e enriquecedor, colocando-me em contato com pessoas brilhantes e dedicadas. A UNESP não apenas me proporcionou uma educação de qualidade ao longo de toda a minha formação acadêmica mas também ofereceu oportunidades de pesquisa e envolvimento em projetos desafiadores que ampliaram meus horizontes. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e institucional concedido. Por meio do suporte dessas instituições, fui capaz de dedicar-me integralmente à pesquisa e contribuir para o avanço do conhecimento.

Reitero minha imensa gratidão a todos aqueles que estiveram ao meu lado, culminando na bem-sucedida obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção. A confiança e o apoio inabaláveis que recebi foram fundamentais para manter a perseverança ao longo de todo processo mesmo diante das situações adversas. Sinto-me imensamente privilegiado por ter cada um de vocês ao meu lado.

De fato, apenas o que não tem uma medida tangível pode ser facilmente exagerado em importância. Esta é a razão básica pela qual a elite privilegiada em todas as sociedades sempre consistiu e, afirmo, sempre consistirá em membros que prestam serviços improdutivos de uma forma ou de outra (...). O fato de toda elite realizar serviços que não produzem um resultado palpável e mensurável leva não apenas a privilégios econômicos, (...) mas também a abusos de todos os tipos.

– Georgescu-Roegen, Nicholas

RESUMO

No atual cenário global, imerso na megatendência da urbanização, é de extrema importância promover uma mudança de paradigma no sentido da coexistência entre a preservação do capital natural, desenvolvimento socioeconômico e o progresso tecnológico, reconhecendo a intrínseca interdependência entre esses elementos. Coordenar a complexidade dos ecossistemas urbanos requer formas de governança capazes de identificar arranjos que permitam o planejamento de estratégias considerando as implicações socioéticas e ecológicas por meio de uma agenda política inclusiva. Os ecossistemas urbanos apresentam desafios específicos como conflitos espaciais decorrentes da necessidade de preservação da biodiversidade, lidar com fragmentação e mudanças espaciais, administrar uma pluralidade de valores e injustiças sociais, além de lidar com trajetórias influenciadas por legados culturais desconectados dos ecossistemas naturais. No Brasil, embora a Bioeconomia ofereça a possibilidade de superar alguns desses desafios, a narrativa tem sido marcada por uma tendência tecnocrática que favorece setores econômicos específicos. Nesse cenário, grande parte das discussões e esforços têm se concentrado na agricultura tradicional, o que traz consigo algumas injustiças. Essa perspectiva, marcada pela resistência a mudanças, negligência o fato de que os ecossistemas urbanos detêm grande parte do capital intelectual e oferecem oportunidades para o desenvolvimento sustentável para além de seus limites geográficos. A idealização de uma Bioeconomia Circular Urbana no cenário nacional apresenta uma justificativa abrangente, uma vez que não se limita a um setor produtivo específico, mas visa criar valores equitativos que beneficiam todas as partes interessadas. Essa justificativa é reforçada pelas características socioeconômicas associadas à significativa concentração populacional nas áreas urbanas, constituindo uma narrativa integrada que destaca os conceitos de biosimbiose urbana, descentralização de recursos, valorização de bioresíduos e cooperação entre atores e partes interessadas. O objetivo central da pesquisa é desenvolver uma análise prospectiva capaz de antecipar possíveis tendências, subsidiando, assim, a formulação de estratégias e a tomada de decisões de maneira informada e assertiva. Para atingir este objetivo, uma abordagem de métodos mistos foi adotada, combinando revisão da literatura, elicitação de conhecimento especializado e análise de decisão multicritério. O principal produto da pesquisa é a elaboração de um índice composto projetado para analisar de forma simplificada um conjunto de informações técnicas como dados demográficos, infraestrutura, serviços públicos e o desenvolvimento de práticas circulares. O Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana busca consolidar dados e estatísticas, avaliar a qualidade e a necessidade de novas práticas, identificar oportunidades de melhoria, estabelecer metas e auxiliar na implementação de estratégias. Dadas as lacunas significativas na disponibilidade de dados, o escopo e a cobertura do Índice ainda são limitados. No entanto, esta análise representa um ponto de partida para uma avaliação mais abrangente e pode auxiliar os formuladores de políticas e tomadores de decisão a determinar prioridades e monitorar o progresso das práticas adotadas. Desta forma, esses atores podem utilizar esta ferramenta, bem como seu desenho metodológico, para desenvolver e instituir políticas de melhoria.

Palavras-chave: Economia Circular; Sustentabilidade urbana; Governança colaborativa; Análise de decisão multicritério; Biosimbiose Urbana.

ABSTRACT

In the current global scenario, immersed in the megatrend of urbanisation, it is extremely important to promote a paradigm shift towards coexistence between the preservation of natural capital, socio-economic development, and technological progress, recognising the intrinsic interdependence between these elements. Coordinating the complexity of urban ecosystems requires forms of governance capable of identifying arrangements that allow strategies to be planned, considering the socio-ethical and ecological implications through an inclusive political agenda. Urban ecosystems present specific challenges, such as spatial conflicts arising from the need to preserve biodiversity, dealing with fragmentation and spatial change, managing a plurality of values and social injustices, as well as dealing with trajectories influenced by cultural legacies disconnected from natural ecosystems. In Brazil, although the Bioeconomy offers the possibility of overcoming some of these challenges, the narrative has been marked by a technocratic tendency that favours certain economic sectors, in which a large part of the discussions and efforts have focused on traditional agriculture, which brings with it some injustices as well as wasted opportunities for the creation of socioeconomic values. This perspective, marked by resistance to change, neglects the fact that urban ecosystems hold much of the intellectual capital and offer opportunities for sustainable development beyond their geographical boundaries. The idealisation of an Urban Circular Bioeconomy on the national stage presents a comprehensive justification since it is not limited to a specific productive sector but aims to create equitable values that benefit all stakeholders. This justification is reinforced by the socio-economic characteristics associated with the significant population concentration in urban areas, constituting an integrated narrative that highlights the concepts of urban biosymbiosis, decentralisation of resources, valorisation of biowaste, and cooperation between actors and stakeholders. The central aim of the research is to develop a foresight analysis capable of anticipating possible trends, thus supporting the formulation of strategies and decision-making in an informed and assertive manner. To achieve this goal, a mixed-methods approach was adopted, combining literature review, expert knowledge elicitation, and multi-criteria decision analysis. The main product of the research is the development of a composite index designed to analyse in a simplified way a set of technical information such as demographic data, infrastructure, public services, and the development of circular practises. The Composite Index for the Development of the Urban Circular Bioeconomy seeks to consolidate data and statistics, assess the quality, and need for new practises, identify opportunities for improvement, set targets, and help implement strategies. Given the significant gaps in data availability, the scope and coverage of the Index are still limited. However, this analysis represents a starting point for a more comprehensive assessment and can help policymakers and decision-makers determine priorities and monitor the progress of adopted practises. In this way, these actors can use this tool, as well as its methodological design, to develop and further institute improvement policies.

Keywords: Circular Economy; Urban Sustainability; Collaborative Governance; Multicriteria-decision analysis; Urban Biosymbiosis.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Diagrama de correlação entre objetivo geral, objetivos específicos e métodos utilizados.....	48
Fig. 2.2 - Esquema dos quatro quadrantes de um mapa temático e esquema de uma rede temática.....	50
Fig. 2.3 - Mapeamento de mudanças nas redes.	52
Fig. 2.4 - Agrupamento por similaridade intracluster e interclusters.	53
Fig. 2.5 - FSSD para o planejamento e tomada de decisão para sistemas complexos.	59
Fig. 2.6 - Esquema genérico de implementação do método Delphi com três rodadas.	62
Fig. 2.7 - Fases do modelo construtivista de auxílio à decisão.	65
Fig. 2.8 - Descritor com as ancoragens dos níveis de impacto Bom e Neutro.	69
Fig. 3.1 - Principais autores com relação a publicações ao longo do tempo.	79
Fig. 3.2 - Autores mais relevantes de acordo com o número de publicações.....	79
Fig. 3.3 - Universidades mais relevantes de acordo com o número de publicações.	80
Fig. 3.4 - Mapa temático da pesquisa entre 2015 e 2023.	81
Fig. 3.5 - Estrutura Conceitual de pesquisa para uma Bioeconomia Circular de 2015 a 2023.	83
Fig. 3.6 - Mapa de evolução temática de acordo com as palavras chaves dos autores.	84
Fig. 3.7 - Gráfico de linhas para a evolução no número de palavras-chaves dos autores. ..	85
Fig. 3.8 - Rede histórica de citações diretas dos 30 principais artigos para a Bioeconomia Circular	86
Fig. 4.1 - Mapa das inter-relações binárias e ternárias entre os principais constructos.....	100
Fig. 4.2 - Fluxograma de procedimentos da investigação.	101
Fig. 4.3 - Grau de distribuição dos códigos propostos na amostra.	102

Fig. 4.4 - Componentes físicos essenciais para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana.....	112
Fig. 4.5 - Visão de rede dos 18 códigos propostos integrando suas inter-relações.	114
Fig. 5.1 - Características do fluxo dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.	122
Fig. 5.2 - Fluxograma dos principais atores na gestão de resíduos Sólidos urbanos no Brasil.	123
Fig. 5.3 - Comparação entre a Política nacional de Resíduos Sólidos e a Hierarquia de zero resíduos da Economia Circular.	126
Fig. 5.4 - Principais ministérios com políticas dedicadas a Bioeconomia.	150
Fig. 5.5 - Fluxograma de trabalho de uma biorrefinaria voltada a recuperação de biorresíduos urbanos.....	155
Fig. 5.6 - Principais marcos regulatórios para Bioeconomia Circular Urbana sob as visões bioecológica, de biorrecursos e biotecnológica.....	156
Fig. 6.1 - Visão geral do método de pesquisa.	161
Fig. 6.2 - Framework teórico da Bioeconomia Circular Urbana	184
Fig. 7.1 - Etapas para avaliar o grau de desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana.	226
Fig. 7.2 - <i>Checklist</i> para o mapeamento da fonte de dados.	228
Fig. 7.3 - <i>Checklist</i> para o determinar a suficiência de dados.	228
Fig. 7.4 - <i>Checklist</i> para preparo dos dados desagregados.	229
Fig. 7.5 - <i>Checklist</i> para calcular os valores normalizados.	230
Fig. 7.6 - <i>Checklist</i> para definir o objetivo e público-alvo do relatório.	231
Fig. 7.7 - <i>Checklist</i> para definir o escopo do relatório.	232
Fig. 7.8 - <i>Checklist</i> para definir o conteúdo técnico do relatório.	233
Fig. 7.9 - <i>Checklist</i> para aderir as práticas recomendadas.....	234
Fig. 7.10 - <i>Checklist</i> para tradução do conhecimento adquirido em práticas de melhoria local.....	236

LISTA DE TABELAS

Tab. 2.1 - Fases de uma revisão integrativa.	54
Tab. 3.1 - Lista dos 10 artigos mais citados, média anual, normalização e Fator de impacto do artigo.	77
Tab. 4.1 - Principais <i>strings</i> de busca.	101
Tab. 4.2 - Lista das dez palavras mais frequentes, termos semelhantes, e suas respectivas ocorrências.	102
Tab. 5.1 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Tecnologia"	131
Tab. 5.2 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Infraestrutura".	132
Tab. 5.3 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Financeira".	134
Tab. 5.4 - Dimensão das barreiras internas para categoria "organizacional".	135
Tab. 5.5 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Política e legislativo".	138
Tab. 5.6 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Sociocultural".	140
Tab. 5.7 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Concorrência no mercado". .	142
Tab. 5.8 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Processo e cadeia de suprimentos".	143
Tab. 6.1 - Princípios à nível de sistema.	171
Tab. 6.2 - Drivers e barreiras para o nível de Sucesso.	172
Tab. 6.3 - Nível de estratégias.....	176
Tab. 6.4 - Práticas à nível de ação.....	178
Tab. 6.5 - Indicadores para cada categoria proposta.	181
Tab. 7.1 - Principais tarefas no decorrer de cada etapa do desenvolvimento.	186
Tab. 7. 2 - Grupo selecionado de especialistas para avaliação e ponderação dos indicadores.	189
Tab. 7.3 - Pesos locais e globais dos critérios.	208
Tab. 7.4 - Valores-alvo Limiares e Limites inferiores.	210

Tab. 7.5 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁	213
Tab. 7.6 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂	213
Tab. 7.7 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃	213
Tab. 7.8 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₄	213
Tab. 7.9 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₅	214
Tab. 7.10 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₆	214
Tab. 7.11 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₇	214
Tab. 7.12 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₈	214
Tab. 7.13 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₉	215
Tab. 7.14 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₀	215
Tab. 7.15 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₁	215
Tab. 7.16 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₂	215
Tab. 7.17 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₃	216
Tab. 7.18 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₄	216
Tab. 7.19 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₅	216
Tab. 7.20 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₆	216

Tab. 7.21 - - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₇ .	217
Tab. 7.22 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₈ .	217
Tab. 7.23 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₁₉ .	217
Tab. 7.24 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₀ .	217
Tab. 7.25 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₁ .	218
Tab. 7.26 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₂ .	218
Tab. 7.27 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₃ .	218
Tab. 7.28 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₄ .	218
Tab. 7.29 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₅ .	219
Tab. 7.30 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₆ .	219
Tab. 7.31 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₇ .	219
Tab. 7.32 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₈ .	219
Tab. 7.33 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₂₉ .	220
Tab. 7.34 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₀ .	220
Tab. 7.35 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₁ .	220
Tab. 7.36 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₂ .	221

Tab. 7.37 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₃	221
Tab. 7.38 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₄	221
Tab. 7.39 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₅	221
Tab. 7.40 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₆	222
Tab. 7.41 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₇	222
Tab. 7.42 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₈	222
Tab. 7.43 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₃₉	222
Tab. 7.44 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₄₀	223
Tab. 7.45 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₄₁	223
Tab. 7.46 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C ₄₂	223

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AeR - Agroecologia em Rede

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CGEN - Conselho de Gestão do Patrimônio Genético

Cibiogas - Centro Internacional de Energias Renováveis

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPR - Responsabilidade estendida do produtor

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FNRP - Fundo Nacional de Repartição de Benefícios

FSSD - *Framework for Strategic Sustainable Development*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

INPI- Instituto Nacional da Propriedade Intelectual

Macbeth - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MapBiomass - Mapeamento Anual de Uso e Cobertura do Solo

MCDA - *Multiple-criteria decision analysis*

MCDA-C - *Multicriteria Decision Aid-Constructivist*

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MEC - Ministério da Educação

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

NbS - *Nature-based solutions*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P&D - Pesquisa e desenvolvimento

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCGI - *Research Centre for Greenhouse Gas Innovation*

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SELURB - Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana

Siegen - o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético

SINIR - Sistema Nacional de Gestão Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	22
1.1 Contextualização	22
1.2 Justificativas	33
1.3 Questões e objetivos de pesquisa	43
1.4 Estrutura da Tese	44
2. DESIGN DE PESQUISA.....	48
2.1 Análise bibliométrica	49
2.1.1 <i>Diagrama estratégico e Mapa temático</i>	<i>49</i>
2.1.2 <i>Evolução temática.....</i>	<i>51</i>
2.1.3 <i>Análise de Correspondência Múltipla e agrupamento k-means.....</i>	<i>52</i>
2.2 Revisão Integrativa da Literatura	53
2.2.1 <i>Análise de dados utilizando o Software ATLAS.ti</i>	<i>55</i>
2.3 Revisão sistemática da literatura	57
2.4 Revisão longitudinal da literatura	57
2.4.1 <i>Estrutura para o Desenvolvimento Estratégico Sustentável</i>	<i>59</i>
2.5 Desenvolvimento do Índice Composto a partir de uma Estrutura de Modelagem Colaborativa de Valor	60
2.5.1 <i>Método Delphi</i>	<i>61</i>
2.6 Análise de decisão multicritério	63
2.6.1 <i>Modelo construtivista multicritério de auxílio à decisão</i>	<i>64</i>
2.6.2 <i>Modelo Macbeth</i>	<i>66</i>
2.6.2.1 <i>Árvore de ponto de vista.....</i>	<i>68</i>
2.6.2.2 <i>Descritores.....</i>	<i>68</i>
2.6.2.3 <i>Fase de avaliação</i>	<i>69</i>
3. BIOECONOMIA CIRCULAR – UMA REVISÃO LONGITUDINAL.....	72
3.1 Visão geral e delimitação de revisões anteriores.....	74
3.2 Método.....	75
3.2.1 <i>Amostragem e coleta de dados.....</i>	<i>75</i>
3.3 Literatura Central e fluxos de pesquisa	76
3.4 Análise bibliométrica	78
3.4.1 <i>Mapa temático</i>	<i>80</i>
3.4.2 <i>Mapa conceitual e gráfico de linhas</i>	<i>82</i>

4. O POTENCIAL DE UMA BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: PROPOSTA DE REVISÃO INTEGRATIVA	87
4.1 Princípios e definições teóricas.....	92
4.1.1 Entropia	92
4.1.2 Economia Circular.....	93
4.1.3 Bioeconomia	94
4.1.4 Bioeconomia Circular.....	95
4.1.5 Ecossistemas Urbanos	96
4.1.6 Serviços Ecossistêmicos	98
4.2 Método de pesquisa	100
4.3 Análise de output dos códigos	102
4.4 Interrelações binárias	103
4.4.1 Limites entrópicos para a Bioeconomia Circular	103
4.4.2 Entropia para os Ecossistemas Urbanos	104
4.4.3 Bioeconomia Circular e ecossistemas urbanos.....	106
4.5 Estrutura para uma Bioeconomia Circular Urbana	107
5. TRANSIÇÃO PARA UMA BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA – INSIGHTS A PARTIR DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NACIONAIS.....	115
5.1 Características socioeconômicas dos ecossistemas urbanos brasileiros	116
5.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos sob a perspectiva da Economia Circular.....	123
5.2.1 Hierarquia de resíduos	125
5.2.2 Logística Reserva.....	126
5.2.3 Responsabilidade compartilhada	127
5.3 Barreiras para a adoção da gestão de resíduos sob uma perspectiva circular	130
5.4 Políticas públicas nacionais associadas à Bioeconomia Circular Urbana.....	145
5.5 Biorrefinarias para o processamento de biorresíduos urbanos	151
6. PROPOSTA DE UM FRAMEWORK TEÓRICO PARA A BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA	157
6.1 Método de pesquisa	160
6.2.1 Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas de suporte	162
6.2.2 Produção.....	163

6.2.3 Desenvolvimento e organização de mercado	164
6.2.4 Gestão de resíduos	165
6.2.5 Gestão dos recursos naturais.....	166
6.2.6 Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	167
6.2.7 Políticas, estratégias e legislação.....	168
6.2.8 Infraestrutura e tecnologia	168
6.3 Níveis de desenvolvimento sustentável estratégico	169
6.3.1 Nível 1 - Sistema	170
6.3.2 Nível 2 - Sucesso	172
6.3.3 Nível 3 - Estratégias	175
6.3.4 Nível 4 - Ações	177
6.3.5 Nível 5 - Indicadores.....	179
6.4 Framework teórico	182
7. ÍNDICE COMPOSTO PARA O DESENVOLVIMENTO BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA NACIONAL	185
7.1 Definindo as bases para o desenvolvimento da estrutura Colaborativa de valor	186
7.2 <i>Design</i> do processo sociotécnico	187
7.3 Critérios de seleção dos indicadores	189
7.4 Modelagem de valor utilizando o método <i>Delphi</i>	191
7.5 Conferência de decisão multicritério	192
7.6 Indicadores selecionados para o Índice composto de desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana	193
7.7 Construção do modelo de valor por meio de conferência de decisão	206
7.8 Passo a passo para a utilização e atualização do <i>Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana</i>	223
8. DISCUSSÕES	237
9. CONCLUSÕES.....	249
9.1 Limitações de pesquisa.....	253
REFERÊNCIAS	255
APÊNDICES.....	298

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão fornecidas explicações referentes a seleção do tema abordado acompanhado de uma justificativa adequada. Além disso, serão apresentadas as questões e os objetivos de pesquisa, bem como a estrutura da tese.

1.1 Contextualização

À medida que nossa compreensão a respeito da importância das interações ecológicas se desenvolve, torna-se inegável como o esgotamento de recursos pressiona a capacidade de suporte dos ecossistemas naturais. Em particular, torna-se evidente como as interações bióticas compõem teias de interdependência, de modo que a perda do capital natural crítico como água doce, solos férteis, biodiversidade e recursos energéticos pode levar sistemas inteiros ao colapso (Strona & Bradshaw, 2018). Os ecossistemas naturais são constituídos por uma infinidade de subsistemas e interações entre organismos vivos, recursos e processos e abrange uma ampla gama de fatores ecológicos como dinâmicas populacionais, fluxo de energia e interações tróficas (Keith et al., 2022). A percepção das escalas geográficas e das consequências temporais varia significativamente entre módulos de rede, função estrutural, características e grau de interação. Isso significa que os diferentes tipos de organismos e processos ecológicos respondem de maneira peculiares às mudanças ao longo do espaço tempo (Hagen et al., 2012). Apesar das sutis relações ecossistêmicas serem imperfeitamente compreendidas e eventualmente responderem suavemente às pressões, muitos subsistemas são particularmente sensíveis e reagem de maneira não linear e abrupta a essa dinâmica (Rockström et al., 2009).

A vida na Terra vem evoluindo há cerca de três bilhões de anos e embora o planeta tenha passado por mudanças extremas, a biosfera e as condições climáticas permaneceram relativamente estáveis durante os últimos milhares de anos (Chu & Karr, 2017). A evolução biológica, impulsionada pela seleção natural, processo no qual os organismos mais aptos sobrevivem e transmitem seus códigos genéticos aos seus descendentes, apresenta diferentes níveis de adaptação determinadas principalmente pelas características biofísicas dos ecossistemas a sua volta. Ao longo de todo o período evolutivo, a vida na terra teve de "aprender" a lidar com eventos marcados por fontes energéticas limitadas e instáveis. Nesse sentido, a capacidade de utilizar diferentes tipos de fontes energéticas, assim como ajustar o

próprio metabolismo de acordo com a disponibilidade de nutrientes está fundamentalmente enraizada na natureza de todos os seres vivos (Bartke & Schneider, 2020).

O princípio de coextinção afirma essencialmente que um consumidor não pode existir na ausência de fontes de recursos (Strona & Bradshaw, 2018). As interações entre recursos e consumidores são organizadas em vários níveis hierárquicos e a remoção desses recursos pode resultar na extinção de consumidores de nível superior. Quando os recursos energéticos são escassos ou inacessíveis, os organismos enfrentam condições adversas e se tornam incapazes de suprir suas necessidades metabólicas. Em contrapartida, quando os recursos são abundantes, os organismos vivos podem aumentar gasto energético, elevando suas chances de sobrevivência e sua aptidão aos processos de seleção natural (Gregory, 2009). Nesse sentido, o equilíbrio na temperatura da superfície, bem como a disponibilidade de água doce e os fluxos biogeoquímicos, permitiram que a capacidade reguladora do Planeta mantivesse as condições necessárias para o desenvolvimento de vida na terra (Sigman & Boyle, 2000). As diferentes interações na biosfera como competição, predação, parasitismo e mutualismo são processos intrínsecos a evolução e, no nível mais básico, a distinção entre a origem e a extinção das espécies cria o inventário para a dinâmica espacial da biodiversidade atual (Jablonski, 2008). Entretanto, nós seres humanos, transgredimos a evolução biológica para um modelo de evolução exossomática por meio de processos econômicos e instituições de mercado em resposta a esse novo tipo de evolução. Ao contrário da evolução biológica impulsionada exclusivamente pela variação genética e seleção natural, a evolução exossomática pode ser percebida como um meio de ampliar as capacidades cognitivas, comunicativas e criativas, estando vinculada a uma lógica intrínseca que tende a acentuar a complexidade dos sistemas, a diversidade e a eficiência tecnológica (Mayumi, 2001).

As inovações tecnológicas em busca de novas formas de conversão de energia desempenharam um papel fundamental e continuam a ser a principal força motriz do desenvolvimento humano. Esse tipo de inovação permitiu aos seres humanos produzir uma maior quantidade e variedade de alimentos, disseminar conhecimento, tratar doenças e solucionar problemas de maneira notável (Mormina, 2019). Entretanto, as buscas por diferentes tipos de fontes energéticas, assim como as escolhas e influências políticas, interações sociais e suas desigualdades acarretam riscos que incluem a deterioração dos ecossistemas naturais, crises climáticas, poluição, disparidades e conflitos socioeconômicos (Kalair et al., 2021). Nesse sentido, a crescente variedade de serviços e externalidades, as

distinções entre esse capital natural e a capacidade dos ecossistemas naturais estão gradualmente se dissipando e sendo tratados como ativos (Barbier, 2019). Por conseguinte, a evolução humana não apenas se assemelha, mas transcende os mecanismos da seleção natural por meio de processos dinâmicos que envolvem adaptação e inovação, necessidades e liberdade, continuidade e mudanças (Corning, 1995).

A herança cultural abrange um conjunto de comportamentos adquiridos que detém a capacidade de expandir ou diminuir a conscientização dessa interdependência, desempenhando um papel crucial na formulação dos valores essenciais e exerce um impacto determinante na alocação de recursos, influenciando atitudes e cultivando crenças (O'Hara, 1995). Nós seres humanos, somos motivados por valores morais como a equidade, a reciprocidade, o altruísmo e a justiça e, esses sentimentos morais não são apenas constrangimentos ou desvios da racionalidade, mas sim componentes essenciais da evolução social e da natureza humana (Gintis et al., 2005). A evolução humana não é passiva nem determinista mas sim ativa e intencional, envolvendo a emergência e o desenvolvimento de uma criatividade distinta. Essa criatividade diz respeito a capacidade de criar e manipular representações mentais da realidade que vão além da experiência sensorial imediata, permitindo aos seres humanos vislumbrar possibilidades alternativas, comunicar, cooperar, inventar ferramentas e tecnologias, solucionar problemas, descobrir conhecimento e moldar suas identidades e destinos (Fuentes, 2020). Assim, a concepção da utilização de ferramentas e tecnologias para aprimorar nossas capacidades biológicas e se adaptar implica que nos deparamos com circunstâncias morais que demandam que tomemos decisões que envolvem julgamentos éticos (Bobulescu, 2015).

Apesar de nós seres humanos apresentarmos características únicas em relação as demais espécies como comunicação complexa, autoconsciência e empatia, ao observarmos o quadro geral, a nossa adaptabilidade não está isenta de condicionalismos e, a expressão do nosso metabolismo permanece limitada pelos parâmetros estabelecidos pela biosfera. Assim, existe uma necessidade intrínseca de reconhecer e considerar a intrincada interação entre o nosso potencial de avanços tecnológicos e os limites biofísicos do planeta (Folke et al., 2021; Rockström et al., 2023). No cenário atual, marcado pelo uso do capital natural crítico de forma indiscriminada, parâmetros essenciais como aquecimento global, integridade da biosfera, mudança de uso do solo, perturbação dos fluxos bioquímicos e acidificação dos oceanos já ultrapassaram limites planetários considerados seguros. Esse indiscutível

"encolhimento" na capacidade regenerativa dos ecossistemas naturais de suporte não é apenas quantificável mas também se manifesta na diminuição do potencial qualitativo na capacidade em fornecer serviços essenciais para manutenção da nossa condição como espécie (Steffen et al., 2015).

Além de nossas limitações biológicas, nossa capacidade adaptativa está fortemente sujeita a fatores socioeconômicos e políticos. Ao longo da história, as sociedades têm reagido de maneiras distintas aos processos de mudança, resultando na migração, avanços tecnológicos e transformações culturais. Em algumas ocasiões, civilizações inteiras entraram em colapso e foram reduzidas a níveis de subsistência, enquanto em outras, processos de adaptação a partir de novos modelos econômicos foram estabelecidos. Apesar das contribuições para a alteração dos sistemas e as consequências de seus impactos variarem consideravelmente, independente do período histórico ou escala geográfica, as respostas têm refletido uma correlação entre estresses socioeconômicos, conflitos políticos e crises climáticas persistentes (Abbass et al., 2022; Adger et al., 2005). As relações cíclicas entre esses elementos apresentam o potencial de amplificar ou atenuar efeitos mútuos. Os impactos decorrentes das mudanças climáticas têm o potencial de agravar tensões sociais e conflitos políticos, resultando em incertezas, dificuldades e injustiças. Por sua vez, os conflitos políticos podem intensificar a vulnerabilidade social diante das crises climáticas, comprometendo a eficácia da governança, das instituições e de suas infraestruturas (Hendrix et al., 2023).

As pesquisas científicas desempenham papéis fundamentais como manter unido o tecido social legitimando as instituições e identificar preocupações críticas que exijam uma mudança nas ideologias e instituições (Giampietro, 2023). Entretanto, mesmo à luz dos avanços nos campos da genética, robótica e inteligência artificial, grande parte das sociedades globais continuam a enfrentar desafios transversais como a falta de acesso à água potável, saneamento básico e segurança alimentar. Nesse sentido, a conjuntura de crises relacionadas ao colapso climático e escassez do capital natural crítico sublinha que *"a economia é altamente destrutiva para o capital natural e social e caracteriza-se por grandes e crescentes disparidades entre ricos e pobres"* (Elkington, 2013, p.10). As transformações nos padrões de desigualdade, assim como os processos de globalização, evidenciam as conexões em escalas diversas e as desvinculações de processos socioecológicos, implicam que as perturbações estão causando impactos que anteriormente se limitavam a certas regiões

geográficas (Cottrell et al., 2019). Essencialmente, estas transformações sublinham a complexa interação entre fatores sociais e ecológicos, moldando os desafios e as suas implicações para a equidade social e resiliência.

Apesar de os limites do capital natural terem sido objeto de discussões e debates ao longo das últimas décadas, essa questão adquiriu um caráter de urgência e despertou um interesse crescente, tornando-se indiscutivelmente relevante para as análises socioeconômicas atuais (Robbins, 2019). No atual cenário marcado principalmente pelas crises climáticas, uma falha na redução significativa ao não cumprir as metas do Acordo de Paris em limitar o aquecimento global abaixo de 2°C e manter esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, não apenas afastariam o clima das atuais condições estáveis, mas também o empurrariam para além das condições experimentadas durante todo o período geológico atual (Willeit et al., 2019). Não há precedentes nos últimos 3 milhões de anos que se compare as atuais concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e o dano potencial das atividades antrópicas podem levar séculos, senão milênios, para que os sistemas terrestres se restaurem por completo (Ganopolski et al., 2016). Entretanto, vale ressaltar que mesmo em meio a esse cenário crítico, grande parte da "produção" energética continua a ser produzida por meio de fontes não renováveis sujeitas a um esgotamento completo em questão de décadas, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral (Sharma & Malaviya, 2023).

"Desde o século 19, os humanos vêm queimando quantidades crescentes de combustíveis fósseis. Isso resulta na liberação de enormes quantidades de dióxido de carbono. O aumento foi de cerca de 15% nos últimos 150 anos, o que não é desprezível. Se o consumo de carvão e petróleo mantiverem o ritmo nos próximos anos, a concentração de dióxido de carbono chegará a 400 partes por milhão por volta de 2010. Esse aumento de concentração é bastante preocupante. O ar mais rico em dióxido de carbono absorve mais radiação e aquece. As ordens de magnitude calculadas (de 1 a 1,5 °C) podem ter impactos importantes. A circulação atmosférica poderia ser modificada, e não é impossível prever pelo menos um derretimento parcial das calotas polares, o que certamente resultaria em uma elevação significativa do nível do mar. As consequências catastróficas são fáceis de imaginar" (Durand-Dastès, 1971, p.12).

A ciência da sustentabilidade emerge como uma esfera orientada para propostas que transcendem as fronteiras disciplinares e almeja envolver a sociedade na resolução de

questões multidimensionais (Kates et al., 2001). Alguns dos seus principais tópicos incluem causas e consequências das alterações da biosfera; compromissos e sinergias entre as diferentes dimensões como ecológica, social, económica e cultural; pontos de alavancagem e as intervenções para transformar sistemas e práticas insustentáveis, tais como padrões de consumo, sistemas de produção, estruturas de governação e valores e normas e os métodos e ferramentas para avaliar problemas e soluções tais como indicadores, modelos, quadros, abordagens participativas e investigação transdisciplinar (Heinrichs et al., 2016). Entretanto, apesar de ser uma prática louvável, a consideração de múltiplos níveis e dimensões de análise, todos os quais, em princípio, podem ser utilizados para representar fenômenos relevantes, como clima, geologia, hidrologia e biodiversidade, que constituem a base da vida na Terra, muitas vezes peca pela falta de compreensão dos seus mecanismos, o que tem levado a conclusões equivocadas (Wamsler, 2020).

O termo "desenvolvimento sustentável" emerge como um tecido de princípios científicos, heurísticos e ideológicos vagos formando um discurso divergente e muitas vezes contraditório que carrega diferentes implicações sociais e políticas (Leff, 2019). Considerando que os sistemas socioecológicos tendem a se configurarem como sistemas complexos e adaptativos que operam em níveis elevados de produtividade e intensidade na produção de materiais e energia. Os sistemas económicos se caracterizam como sistemas em que o capital natural é extraído, enquanto os resíduos gerados e reintroduzidos no sistema (Giampietro, 2019). Essas funções estão intrinsecamente interconectadas, sendo que qualquer intervenção ou ação em um dos lados representam efeitos imediatos no outro. Essa perspectiva evidencia como nossa sociedade se desenvolve e qual direção as mudanças técnicas tome irá determinar a disponibilidade do capital natural no futuro. Consequentemente, a ciência da sustentabilidade, permanece passível em empregar diferentes abordagens, o que inevitavelmente levará à coexistência de diversas ontologias. Isso resulta na necessidade de lidar com esferas descritivas que não são mutuamente equivalentes, modelos científicos irreduzíveis e representações que não podem ser diretamente comparadas (Giampietro, 2023).

Nesse cenário, os "atores-chave", desempenham papéis influentes em sistemas ou processos específicos, incluindo tomadores de decisões políticas, líderes empresariais, cientistas, académicos e ativistas. Suas ações, decisões e influência representam um impacto significativo na determinação do curso das práticas e legislação para um futuro mais

sustentável. Por outro lado, as "partes interessadas", uma categoria mais ampla que engloba todos aqueles que possuem algum interesse direto ou indireto, incluindo sociedade civil, comunidades locais, organizações não governamentais e instituições, embora possam não exercer tanto poder direto de decisão, são afetados pelas práticas, decisões ou resultados políticos. Essas perspectivas diversas refletem valores, interesses, suposições e visões distintas e essa diversidade resulta em implicações sociais e políticas variadas no que diz respeito à definição, medição, monitoramento e implementação de metas e indicadores (De Brucker et al., 2013). Considerando a intrínseca complexidade decorrente da natureza não linear das iniciativas, as quais não seguem um roteiro predefinido, mas, ao invés disso, abrangem simultaneamente fases como iniciação, aceleração e estagnação, torna-se imperativo lidar com essa dinâmica de maneira eficaz. Isso requer a adoção de uma mentalidade flexível e adaptativa, aberta a ajustar suas estratégias conforme necessário, bem como a capacidade de aprender com os desafios enfrentados ao longo do processo e tomar decisões informadas à medida que a iniciativa progride. A habilidade de enfrentar as complexidades e incertezas é de importância vital para garantir o sucesso sustentado das iniciativas. Há, também, o risco de que tais iniciativas percam sua radicalidade e inovação à medida que crescem, o que pode, por sua vez, limitar significativamente sua contribuição para a mudança transformadora (Schagen et al., 2023).

Práticas como despejo de biorresíduos de forma irregular, disposição e falta de tratamento do esgoto, assim como a queima de combustíveis fósseis representam um grande acréscimo de entropia aos sistemas, alterando os regimes de fluxo biogeoquímicos, afetando a estabilidade térmica e a liberação de nutrientes, influenciando na distribuição de energia alóctone e causando mudanças críticas no uso do solo (Folke et al., 2021). Os processos econômicos estão intrinsecamente ligados à degradação do capital natural, o que impõe restrições ao crescimento econômico e ao desenvolvimento tecnológico, tornando-se imprescindível reconhecer que tais processos possuem dinamicidade e evolução constante (Chee, 2004). Uma economia fundamentada na suposição de um uso de capital natural irrestrito e na irrelevância das externalidades, portanto, é insustentável e, inevitavelmente, irá levar qualquer sistema ao colapso (Georgescu-Roegen, 1971). A fim de superar essas questões, ao relacionar os sistemas econômicos a estruturas dissipativas, de acordo com as leis da termodinâmica, é possível compreendê-los e classificá-los como sistemas que não produzem, mas sim convertem os recursos para seu funcionamento em energia e desordem. Nesse sentido, uma abordagem entrópica permite colocar as múltiplas interdependências

entre economia e sistema ecológico em uma base comum. Isso traz à tona a seguinte questão fundamental *"Qual é o verdadeiro resultado para o qual os sistemas econômicos devem se esforçar para dissipar o capital natural?"*.

Apesar de sua natureza intrincada, a verdadeira essência do uso do capital natural deve ser imaterial, como uma fonte de mudança, diversidade social e cultural (Hall, 1992). Assim como nos processos vitais para nossa sobrevivência como espécie, o resultado dos processos econômicos não podem se resumir à fluxos de materiais, mas sim de valores, significados e propósitos (Georgescu-Roegen, 1975). Considerando que a finalidade imaterial de um sistema depende mais da qualidade do que da quantidade de capital natural que ele pode explorar, a meta de uma estratégia de desenvolvimento sustentável é preservar a qualidade do sistema a fim de alcançar sua finalidade imaterial consumindo a menor quantidade de capital natural possível. Sob essa perspectiva, uma definição válida para o termo desenvolvimento sustentável diz respeito *"a condição na qual os sistemas econômicos organizam seus ativos e recursos visando alcançar objetivos sociais e imateriais, ao mesmo tempo em que buscam minimizar ao máximo os custos inevitáveis, compreendidos como uma forma específica de dissipação entrópica. Isso implica reconhecer que as restrições entrópicas são intrínsecas aos sistemas complexos e representam essencialmente a natureza metafísica de qualquer atividade econômica"*.

Os processos econômicos são influenciados pelas leis da termodinâmica, que descrevem o comportamento da energia e da matéria no universo. Com o passar do tempo, a energia e a matéria experimentam uma degradação, resultando na perda de sua qualidade e utilidade. Para evitar essa degradação, os sistemas devem criar ordem, o que implica na organização e transformação da energia e da matéria, necessitando, assim, do consumo de energia e recursos. Nesse sentido, a Bioeconomia busca compreender como a origem biológica dos recursos impacta os processos econômicos, considerando que processos estão intrinsecamente ligados a um estoque limitado de recursos acessíveis, que, por sua vez, são distribuídos e apropriados de forma desigual (Gowdy, 2015). Em sua essência, o conceito tem a capacidade de explicar as principais relações entre termodinâmica e biologia para os sistemas socioeconômicos e coloca essas disciplinas à frente de uma lógica puramente econômica. Georgescu-Roegen (1975) descreve que todos os ecossistemas estão inseridos em um sistema mais amplo que fornece serviços e funções essenciais, tais como o ciclo de nutrientes, a regulação climática e a conservação da biodiversidade. O conhecimento

biofísico constitui, portanto, o pressuposto básico no qual os sistemas socioeconômicos atuam e, considerando as restrições impostas pelas leis da termodinâmica, as abordagens bioeconômicas permitem considerar se os propósitos dos sistemas econômicos são desenvolvidos em conformidade com os limites biofísicos (Vivien et al., 2019).

No cenário atual, observa-se uma clara correlação entre a importância política, as concepções de práticas sustentáveis e o significado que essas práticas representam. Paralelamente, a capacidade de proporcionar um futuro mais sustentável, a Bioeconomia é alvo de sérias interrogações, uma vez que uma visão de biorrecursos a partir da produção da biomassa necessária ainda se desenrola em condições prejudiciais tanto do ponto de vista ecológico quanto social (Vogelpohl, 2023). Nesse sentido, as transformações bioeconômicas necessárias vão muito além das concepções convencionais de crescimento econômico evidenciado nas últimas décadas. Embora muitas perspectivas de desenvolvimento econômico estejam centradas principalmente na substituição de tecnologias baseadas em recursos fósseis por alternativas baseadas em recursos biológicos, frequentemente essas perspectivas deixam de reconhecer completamente as profundas mudanças qualitativas e a necessidade da criação de valores socioeconômicos, sendo que essa visão simplista focada apenas na inovação como motor do crescimento econômico, não abarca plenamente os potenciais de transformação crítica inerentes à Bioeconomia (Losacker et al., 2023).

A conexão entre Bioeconomia e serviços ecossistêmicos constitui um campo de estudo emergente, dado que os conceitos desempenham papéis fundamentais no domínio da ciência da sustentabilidade e na elaboração de políticas públicas (D'Amato et al., 2020). Nesse sentido, os ecossistemas urbanos não são meramente aglomerações de pessoas e atividades, mas também são consideradas "sistemas de complexidade organizada". Elas se formam por meio de processos auto-organizados que emergem tanto as políticas públicas "de baixo para cima", bem como por meio de intervenções planejadas que vêm "de cima para baixo". Além disso, esses ecossistemas são moldadas tanto pelas pessoas que nelas habitam quanto moldam as vidas das pessoas. Em um nível mais fundamental, essa complexidade urbana pode ser conceituada de forma abstrata como um conjunto de relações estruturadas entre espaços, atividades, percepções humanas e ações (Batty, 2013). Assim, à medida que os ecossistemas urbanos se deparam com desafios inerentes à saúde, desenvolvimento econômico e preservação ecológica, torna-se evidente que tais circunstâncias influenciarão de forma significativa o destino desses ecossistemas e o futuro global para as próximas

gerações (Patterson et al., 2021). Os governos locais têm a capacidade de mobilizar recursos para criar incentivos direcionados, fomentando inovações assim como podem instituir limites regulatórios para a Bioeconomia nos casos em que esta gera objetivos conflitantes, criando, desse modo, uma estrutura regulatória (Dietz et al., 2018). Além disso, os governos locais têm o poder de estabelecer diretrizes e regulamentações que incentivem práticas circulares, tais como a promoção de incentivos fiscais, a criação de programas de capacitação e apoio técnico, assim como o estabelecimento de parcerias com o setor privado e a sociedade civil. No entanto, o planejamento urbano frequentemente enfrenta questões relacionadas a valores e interesses conflitantes (Campbell, 1996; Rittel & Webber, 1973). Apesar dos ecossistemas urbanos e suas estruturas produtivas oferecerem a possibilidade de compartilhar conhecimentos e progredir nos campos social, cultural, econômico, tecnológico e político, é fundamental reconhecer que a urbanização desordenada pode levar à instabilidade social, sobrecarregar as infraestruturas e desencadear potenciais crises de energia, água, saneamento e gestão de resíduos (Bloom et al., 2008; Elmqvist et al., 2019).

A integração de princípios biológicos, como metabolismo, ecossistemas e os ciclos, no planejamento urbano constitui um potencial significativo para moldar um desenvolvimento urbano mais sustentável. No entanto, a visão de futuro de uma Bioeconomia voltada para o cenário urbano atualmente reflete mais uma ideia programática do que uma agenda política real (Boldt & Thrän, 2023). Nesse sentido, considerando que os processos de transformação podem ser desencadeados pela interação de forças motrizes, como crescimento populacional e inovação tecnológica, por ação política ou social dependendo das características socioeconômicas e interação com outras economias na forma de comércio e transferência de conhecimento, o sucesso de uma Bioeconomia depende do engajamento ativo e da liderança dos governos locais, que desempenham um papel estratégico ímpar na formulação e implementação de políticas públicas, bem como no estímulo à colaboração entre os diferentes atores e partes interessadas (Bezama et al., 2021; Zhongming et al., 2020).

A integração dos princípios da Economia Circular à Bioeconomia surge sob a justificativa de que é possível maximizar a criação de valores socioeconômicos, como regenerar os ecossistemas naturais, evitar o uso indevido do capital natural crítico, priorizar as necessidades básicas das pessoas para o seu bem-estar, reduzir a pegada de gases de efeito estufa e dependência de combustível por meio do uso de energia renovável. Uma

"Bioeconomia Circular" poderia apoiar a criação de novas oportunidades de negócio, o reforço da segurança dos recursos, o apoio ao desenvolvimento rural, a preservação do capital natural e a promoção da inovação (Gottinger et al., 2020; Stegmann et al., 2020). No entanto, o desenvolvimento da narrativa requer atenção a conceitos de organização econômica e procedimentos de avaliação apropriados, permitindo abordar princípios como flexibilidade, resiliência e sistemas complexos, em vez de mera defesa e descrição de cadeias de valor (Viaggi & Zavalloni, 2021). Assim, os potenciais conflitos entre os princípios de desenvolvimento tecnológico, práticas circulares, Bioeconomia e desenvolvimento sustentável representam um desafio para a formulação de estratégias políticas. Nesse sentido, as vias de pesquisa que englobem os princípios de ecologia, termodinâmica e desenvolvimento sustentável não tem conseguido operacionalizar de maneira efetiva, sendo uma das principais razões pelas quais nenhuma mudança substancial nos sistemas socioeconômicos tem se consolidado (Abson et al., 2017; Giampietro & Funtowicz, 2020).

O desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana, a princípio, busca harmonizar a conservação da biodiversidade e a criação de valores socioeconômicos, considerando os efeitos das múltiplas mudanças interativas, sendo que a expansão urbana gera novas vulnerabilidades, tornando a mudança urbana uma fronteira da ciência para a sustentabilidade. Nesse sentido, o desenvolvimento urbano a partir de práticas sustentáveis dependerá da reformulação da natureza dos processos de urbanização para colocá-la em equilíbrio com os limites e fronteiras planetárias fundamentais (Elmqvist et al., 2021). No entanto, observa-se que os serviços ecossistêmicos urbanos estão gradativamente se submetendo à mercantilização e comercialização, ao passo que as redes de informação e serviços básicos estão adquirindo um caráter distante das experiências diretas de grande parte da sociedade, sendo progressivamente entregues para atores e estruturas especializadas que interagem somente entre si. Uma Bioeconomia Circular voltada aos ecossistemas urbanos significa que diferentes pontos de vista, princípios e práticas dependem de esforços para desenvolver abordagens apropriadas, incorporando inovações sociais e soluções envolvendo uma pluralidade de motivações por diferentes atores-chaves e partes interessadas. Embora esta pluralidade seja inerente ao exercício democrático em que múltiplos valores se confrontam e enriquecem ou se opõem mutuamente, seus resultados a partir de abordagens distintas ligadas a suposições equivocadas podem levar a conclusões enviesadas e errôneas. Esse desalinhamento atua como um empecilho para os atores e partes interessadas se

posicionarem frente a diferentes tipos de iniciativas inseridas um processo de transição mais amplo (Allain et al., 2022).

Dado ao fato de que interpretações distorcidas têm sido frequentemente empregadas,, a falta de uma definição singular como uma ponte que conecta as partes interessadas em torno de um objetivo compartilhado e pode tornar a narrativa vulnerável. Nesse sentido, ao longo da pesquisa, defino Bioeconomia Circular Urbana como *"um modelo socioeconômico que visa promover a resiliência urbana e a criação de valores de maneira equitativa por meio do encurtamento das cadeias logísticas, valorização da agricultura urbana, implementação de infraestruturas verdes e a recuperação dos biorresíduos, considerando os princípios de colocalização, cooperação e descentralização do uso do capital natural. Essa abordagem tem como objetivo promover a biosimbiose urbana, desacelerar os ciclos produtivos, reduzir os impactos socioecológicos, criar novas oportunidades e viabilizar um ecossistema local regenerativo que leve em consideração seus limites biofísicos"*.

1.2 Justificativas

Os riscos sistêmicos caracterizados por relações de causa e efeito não lineares, frequentemente associados a pontos ou intervalos de inflexão e apresentam uma alta classificação em termos de incerteza aleatória e epistêmica, muitas vezes ultrapassando limites espaciais e setoriais, impactando outros sistemas, setores e/ou regiões geográficas (Renn & Schweizer, 2020). De acordo com a perspectiva Bioeconômica proposta por Georgescu-Roegen (1975), se a espécie humana deseja prosperar, deve-se não apenas buscar baixa entropia para seus próprios metabolismos, mas também manter os fluxos de energia necessários para as operações dos objetos técnicos que o cercam. No entanto, mesmo considerando que a negligência em relação aos ecossistemas naturais pode comprometer os limites planetários, a falta de consideração dos fluxos técnicos em direção a um ecossistema de inovação pode resultar na interrupção de serviços ecossistêmicos essenciais. Isso evidencia a importância de estabelecer um equilíbrio sutil entre a conservação dos ecossistemas naturais e desenvolvimento tecnológico. Nesse sentido, a atenção voltada para o desenvolvimento de práticas circulares envia um sinal claro a todos os setores, enfatizando a necessidade de ajustar seus modelos de negócios. Isso não apenas visa a aumentar a competitividade, mas também a contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e abordar questões relacionadas à saúde pública (Rahla et al., 2021).

Em meio a um cenário em que a concepção de desenvolvimento de uma Economia Circular frequentemente parece sugerir que uma perspectiva que escape ao controle humano é percebida como inconveniente, a aceitação inquestionável dessa perspectiva implica que interagir com, ou pior ainda, depender dos ecossistemas naturais é uma característica inconveniente que precisa ser revista e corrigida o mais rapidamente possível. Tal equívoco também suscita questionamentos sobre o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular, enfatizando a necessidade de uma abordagem mais equilibrada que reconheça a interdependência entre os sistemas humanos e os sistemas naturais. Um raciocínio obvio, mas frequentemente negligenciado tanto pelo setor privado quanto por economistas, formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão, é que em um prazo máximo de algumas décadas, as instituições econômicas fundamentais provavelmente serão substancialmente diferentes das dominantes no cenário atual. Isso se deve à necessidade de se adaptarem a um cenário profundamente alterado, moldado pela finitude definitiva do capital natural crítico. A grande questão é como esses atores reagirão diante de tais restrições.

Embora a narrativa da Bioeconomia Circular possa trazer oportunidades significativas, os atores que a moldam muitas vezes assumem uma postura de superioridade intelectual, relegando o conhecimento tradicional a um papel secundário, como um mero componente inserido em um sistema isolado (Gebara et al., 2023). Mesmo considerando que o metadiscurso da Bioeconomia é uma das tendências políticas e correntes subjacentes mais pertinentes, os fenômenos agora debatidos e enquadrados sob a bandeira da Bioeconomia Circular, em grande partes não apresentam grandes novidades, sendo importante fazer um balanço destes debates para situar o seu atual enquadramento político. Os países que adotam abordagens explícitas em relação à Bioeconomia Circular, em grande parte, têm o propósito de impulsionar transformações de longo prazo em pelo menos dois aspectos distintos e há geralmente uma ênfase especial na otimização do fornecimento da biomassa. Esse foco é particularmente aplicável às políticas voltadas para os biocombustíveis, o que leva a um aumento na demanda por bioenergia e apresenta impactos diretos e indiretos no uso da terra (Dietz et al., 2018). Esses efeitos variam com base na disponibilidade das terras e na eficácia dos sistemas de governança, tanto a nível local quanto em relação a parceiros comerciais, de modo que a utilização exclusiva de uma visão biotecnológica na definição das políticas públicas é um sintoma revelador de uma crise profunda no domínio da ciência da sustentabilidade, causada pela utilização continuada de um paradigma de ontologias

ultrapassadas utilizadas para descrever as nossas interações com a biosfera (Giampietro, 2023).

Os critérios de desenvolvimento sustentável têm representado uma das principais expectativas no que se refere a assegurar a viabilidade de uma Bioeconomia Circular e isso se torna particularmente relevante diante da transformação desses critérios, que passaram de instrumentos para abordagens híbridas que envolvem colaborações público-privadas. Entretanto, nesse cenário complexo, três visões distintas têm se confrontado em uma luta assimétrica. A primeira visão diz respeito a uma visão bioecológica destaca uma trajetória transformacional em direção a uma economia de decrescimento, na qual a escala das atividades socioeconômicas seria drasticamente reduzida para níveis mais condizentes com os limites planetários. A segunda visão, centrada no uso da biotecnologia e de base científica direcionada principalmente a sua aplicação comercial. Por fim, a terceira visão diz respeito a uma economia de biorrecursos em que o uso da biomassa poderia substituir os combustíveis fósseis e a mineração para a produção de energia e produtos (Vivien et al., 2019). Nesse processo, é perceptível que nem todos os atores ostentam igual relevância e influência nas pautas políticas. Além das questões relacionadas à legitimidade e eficácia, preocupações a respeito de uma possível mercantilização da natureza, na qual os recursos naturais são inseridos em uma lógica de livre mercado, processo muitas vezes denominado de neoliberalização do capital natural continuam a moldar a narrativa (Vogelpohl, 2023). Um argumento ideológico profundo, com base na crença de que o livre mercado, competitivo e não regulamentado, desprovido de qualquer forma de interferência estatal, é o mecanismo ideal para o desenvolvimento econômico e a prosperidade. A ideologia do mercado livre tem como pressupostos modelos irrealistas que não refletem a complexidade e a diversidade do comportamento humano e da sociedade. Geograficamente, a persistência das desigualdades sociais está intimamente relacionada aos *hotspots* de perda de biodiversidade, concentradas em regiões onde os meios de subsistência dependem desproporcionalmente do capital natural (Pörtner et al., 2022). Nesse cenário, as pressões e mudanças sociais estão alterando as perspectivas, colocando em risco a biodiversidade, as experiências culturais, os valores, o conhecimento e os paradigmas econômicos alternativos que visam criar valores socioeconômicos equitativos (Bateman & Mace, 2020).

O advento e a aceleração das biociências e das tecnologias, embora benéficos em muitos aspectos, também levam a novas formas de apropriação da biodiversidade.

Influenciada pelo mercado financeiro, a visão dos biorrecursos, implica em uma intensificação do uso da terra e uma maior demanda por biomassa, tem adquirido uma posição dominante, sendo considerada uma visão mais pragmática. Essas visões conflitantes evidenciam a divergência entre setores e políticas relevantes, colocando em destaque o desafio de discutir políticas públicas horizontais e práticas que abarquem todos os setores da economia. Nesse sentido, a falta de clareza sobre o tipo de transição proposta, assim como os meios para alcançá-la e, principalmente, os custos socioecológicos envolvidos, tem sido motivo de grande incerteza. Essa insegurança a respeito dos caminhos e implicações pode levar a interpretações diversas e, por sua vez, contraditória (D'Amato & Korhonen, 2021).

A ênfase no alinhamento dos sistemas de formulação e monitoramento de políticas globais a respeito da Bioeconomia Circular não tem proporcionado clareza quanto aos benefícios para as partes interessadas mais vulneráveis, principalmente como aqueles inserida nos ecossistemas urbanos podem obter benefícios com tais estratégias, tampouco esclarece como os avanços políticos podem reduzir a distância entre suas agendas e as necessidades de implementação à nível local. Isso cria uma lacuna entre os objetivos das estratégias e a realidade das práticas locais (Marccone et al., 2022). A inclusão social, processo no qual são empreendidos esforços para assegurar igualdade de oportunidades por meio de políticas e ações que promovem acesso equitativo aos serviços públicos e participação nos processos de tomada de decisão, é supostamente abordada no âmbito da Bioeconomia Circular principalmente por meio de promessas quanto a geração de empregos relacionados aos processos de inovação tecnológica. Essa premissa tem sido considerada um motor propulsor da narrativa, entretanto, é importante observar que mesmo que esse suposto cenário se concretize, ele não seria capaz de compensar completamente os meios de subsistência (Hadley Kershaw et al., 2021). Além disso, ao compreender as trajetórias e os processos de mudança em um cenário em que as metas estão em constante evolução e as alavancas de transformação, como as práticas de produção, consumo e extensão das cadeias de valor inevitável considerar que as diferentes partes interessadas, como governos, setor privado, comunidades locais e organizações da sociedade civil, possuem perspectivas e interesses variados e, os aspectos econômicos, sociais, ecológicos, culturais e éticos podem influenciar suas ações (Fraisl et al., 2022).

Com relação ao uso de recursos pelos ecossistemas urbanos, uma objeção óbvia diz respeito a uma parte significativa do capital natural ser direcionada para atender às

necessidades de produção e consumo, que por sua vez, são os principais responsáveis pelas mudanças no uso da terra e uso intensivo do capital natural. No entanto, diante desse paradoxo, é comum atribuir o crescimento populacional a uma série de questões socioecológicas, ao mesmo tempo em que se minimizam os efeitos do consumo do capital natural por parte daqueles que detêm o acesso ao uso da terra e aos meios de produção (O'Sullivan, 2020). Esse raciocínio tem sido estendido aos limites biofísicos dos sistemas terrestres, de forma que os processos de urbanização são frequentemente responsabilizados pelas crises socioeconômicas e ecológicas. A controvérsia reside na forma como a atribuição de responsabilidades pelo consumo e pelas emissões é generalizada. A contribuição de uma pessoa ao longo da vida, pode variar em uma proporção de um para mil, dependendo das circunstâncias em que ela nasce, bem como de suas oportunidades e escolhas de vida (Satterthwaite, 2009). No entanto, uma parcela significativa da população urbana global contribui de forma mínima para a futura geração de resíduos e emissões de gases efeito estufa na atmosfera. É inegável que se as ramificações do consumo das emissões de poluentes e dos resíduos fossem cuidadosamente analisadas, os valores entre os mais ricos resultariam em números milhares de vezes maior do que os observados em grande parte dos grupos mais pobres (Bruckner et al., 2022; Chancel, 2022).

Moore (2016) descreve de maneira precisa a relação intrínseca entre a busca pelo acúmulo de capital econômico e o modelo tradicional de produção por meio da exploração da "natureza barata" que abrange uma série de recursos, como mão de obra, alimentos, água potável, energia e capital natural, utilizados de forma indiscriminada sem levar em consideração os verdadeiros custos e impactos socioecológicos envolvidos. É comum que países emergentes como o Brasil sejam pressionados a planejar seus processos produtivos e infraestrutura de acordo com as demandas do capital global, seguindo formas institucionais e forças de mercado, muitas vezes sem considerar que os serviços associados ao desmatamento, extração de matéria-prima, geração de gases de efeito estufa, subprodutos e resíduos são indicativos de um paradigma insustentável. Essa pressão muitas vezes resulta na adoção de práticas que visam o crescimento econômico a curto prazo, negligenciando as externalidades. A nível global, as áreas urbanas representam apenas 3% da superfície terrestre, no entanto, consomem cerca de 75% do capital natural, utilizam 67% de toda a energia e produzem mais de 70% das emissões globais de gases efeito estufa. Estima-se ainda que os centros urbanos irão abrigar 85% da população mundial ainda nesse século, isso significa que pelo menos 6 bilhões de pessoas serão adicionadas a esses ecossistemas (Wang

et al., 2020; Wei et al., 2021). Esse crescimento sem precedentes representa um grande desafio para as diferentes esferas governamentais, uma vez que para construirmos um futuro mais sustentável é necessário garantir o acesso adequado a serviços básicos, infraestrutura, moradia, emprego e inclusão social. Esses desafios são ainda mais amplos para os governos locais devido as transformações e mudanças nos padrões e diversidade cultural, assim como restrições orçamentárias e falta de capacidade técnica (Okeke et al., 2020). A crescente demanda pelo uso do capital natural crítico como suporte ao desenvolvimento humano instiga a necessidade de uma transição paradigmática em direção a um modelo econômico que leve em consideração sua finitude. A utilização desse capital realça o envolvimento de investimento significativos, além de custos variáveis que tendem a aumentar progressivamente à medida que os recursos se tornam cada vez mais escassos (Jakimowicz, 2020). Além disso, existe a necessidade de considerar que o crescente capital político seja acompanhado pelo risco de que os benefícios potenciais sejam exagerados, a fim de dar prioridade aos objetivos tecnocráticos, sem considerar plenamente as implicações socioéticas, ecológicas ou a definição de uma agenda inclusiva (Hadley Kershaw et al., 2021).

As ondas de Kondratiev, um conceito teórico de *Kondratieff-Schumpeter* para ciclos econômicos de longo prazo, tem como base o desenvolvimento de inovações tecnológicas e mudanças sociais influenciados por uma combinação de fatores econômicos, tecnológicos, políticos e sociais. Essas ondas são caracterizadas por fases alternadas de expansão e contração econômica por meio de "tecnologia prometeicas", uma classe especial de tecnologias com o potencial de fornecer acesso a grandes quantidades de energia de maneira a induzir mudanças econômicas de longo prazo (Rip & Kemp, 1998). A industrialização biológica, cujo objetivo é a aplicação das ciências biológicas e da biotecnologia em diversos setores da economia, como agricultura, saúde, energia e materiais, foi amplamente considerada como uma próxima "onda" de desenvolvimento tecnológico no final da década de 1960. Nessa época, os avanços na área da biologia molecular e da engenharia genética trouxeram consigo novas perspectivas para a manipulação de organismos e a criação de produtos e processos inovadores. A este respeito, cada promessa tecnológica, e a sua articulação na modelização refletiu a ideologia dominante de todo o período em que as inovações tecnológicas e baseadas no mercado que poderiam sustentar o crescimento econômico foram ativamente preferidas. O fato de, na sua maior parte, estas políticas terem prometido ação futura tornou-as claramente mais palatáveis tanto para a indústria como para

o cenário político (McLaren & Markusson, 2020). Entretanto, o paradoxo de Jevons determina que mesmo que um progresso tecnológico disruptivo se concretize, esse fenômeno por si só não tem a capacidade de superar questões referentes a um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Para isso, além dos processos de inovação tecnológicas direcionadas as práticas sustentáveis, é necessário mudanças na estrutura e no comportamento institucional exigindo que consideremos diferentes níveis hierárquicos e que o sistema se adapta a essas inovações (Giampietro & Mayumi, 2018).

Assim, a materialização dessas promessas em um novo ciclo de inovação mostrou-se um processo lento, devido a uma série de fatores, incluindo desafios técnicos, preocupações éticas e sociais, obstáculos regulatórios, questões relacionadas à propriedade intelectual e incertezas no mercado (Terziovski & Morgan, 2006). Devido à competição com outras tecnologias, tornou-se necessário fornecer apoio para concretizar as promessas biotecnológicas e, como resultado, foram necessários grandes esforços institucionais nas últimas décadas para incentivar e acelerar a inovação biotecnológica. Esses esforços incluíram iniciativas como financiamento público, parcerias público-privadas, mecanismos de transferência de tecnologia e implementação de políticas de inovação (Giampietro, 2019; Vivien et al., 2019). Nesse sentido, as estratégias políticas e apoio institucional de uma visão biotecnológica tem essencialmente se baseado na crença de que o crescimento econômico pode ser dissociado do esgotamento excessivo de recursos por meio da produção de conhecimento e inovação biotecnológica (D'Amato & Korhonen, 2021; Vivien et al., 2019).

Essa crença também tem sido adotada por atores-chave do cenário nacional. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, o objetivo de uma Bioeconomia é garantir o papel de liderança do Brasil na competição global por novas tecnologias e mercados, promovendo e financiando um maior grau de qualificação profissional e a expansão de sua própria pesquisa biotecnológica nas áreas de medicina, indústrias biotecnológicas e agricultura por meio de financiamento governamental e parcerias público-privadas (MCTI, 2016). Nesse sentido, é imprescindível observar que as estratégias e agendas nacionais de Bioeconomia ainda estão predominantemente vinculadas a uma perspectiva alinhada à teoria dos longos ciclos de Kondratiev. A adoção de uma visão biotecnológica associada ao uso de biorrecursos, marcada pela falta de uma preocupação evidente com a possibilidade de o cultivo de biomassa, tem acarretado consequências socioecológicas adversas e sido difundida como um referencial de um suposto desenvolvimento sustentável. Entretanto, esses caminhos muitas vezes se baseiam na

tendência de associar legitimidade a qualquer prática relacionada às ciências biológicas, independentemente de seu impacto efetivo na biodiversidade e justiça social (Ollinaho & Kröger, 2023).

Ao longo da história política nacional é inegável tanto o neoliberalismo quanto o autoritarismo estão profundamente enraizados no desenvolvimento de políticas públicas (Søndergaard, 2021). Essa tendência também se manifesta nas estratégias da Bioeconomia, as quais têm assumido uma abordagem fragmentada, transformando-se em um campo de disputa que envolve um conjunto restrito de atores concentrando seus esforços. Isso resulta em uma lacuna significativa entre o avanço das políticas e estratégias voltadas para o fomento de práticas circulares, a criação de valor socioeconômico e a promoção da inovação responsável (Kröger, 2022; Siegel et al., 2022). Nesse sentido, as políticas nacionais têm sido caracterizadas por priorizarem recursos financeiros em benefício exclusivo de determinados setores e regiões, deixando para trás as partes interessadas mais vulneráveis, como as populações de baixa renda que enfrenta dificuldades no acesso a serviços básicos de saúde; as comunidades indígenas e quilombolas que lidam com ameaças culturais e territoriais; assim como agricultores familiares que enfrentam diversas barreiras, incluindo escassez de recursos financeiros, baixa inserção em mercados e insegurança fundiária (Backhouse et al., 2021).

Isso se traduz tanto na subvalorização da criação de valores socioeconômicos quanto na ausência de estratégias para avaliar impactos adversos ou mitigar riscos associados à perda da biodiversidade, resultando em disparidades socioeconômicas e na falta de acesso a recursos e oportunidades. Um exemplo claro, é a política de etanol, que embora tenha impulsionado o país a se tornar líder global na produção de biocombustíveis, fornece amplos incentivos à agricultura convencional e reforça algumas das principais injustiças sociais como a concentração da propriedade da terra, o deslocamento de pequenos agricultores, incentivos fiscais, acesso facilitado a crédito, investimentos públicos em infraestruturas e a criação de um mercado exclusivo (Bastos Lima, 2021). Como resultado, a perda de biodiversidade e as disparidades no acesso e uso da terra foram exacerbadas e se implementa uma possível ameaça de que essa orientação do financiamento da pesquisa possa intensificar as relações extrativistas, ao mesmo tempo que agrave as crises socioecológicas. Essas situações realçam ainda mais a importância de desenvolver perspectivas alternativas e realça o grande desafio para os atores chave no setor acadêmico, bem como da sociedade civil em

repolitizar e democratizar não apenas o campo de debate em torno da Bioeconomia, mas a produção de conhecimento tecnológico e o financiamento governamental à pesquisa como um todo (Backhouse et al., 2021).

No cenário nacional, a Bioeconomia e os processos de urbanização são fenômenos inter-relacionados que apresentam características dinâmicas e difusas. O Brasil é um dos países mais ricos em recursos naturais, porém, a biocapacidade, que se refere à capacidade da biosfera de gerar recursos e absorver resíduos, tem experimentado um declínio substancial nas últimas décadas, apresentando uma relação inversamente proporcional ao crescimento econômico e à intensificação da urbanização no mesmo período (Vogelpohl, 2023). Na década de 1960, as atividades industriais se expandiram, desviando os recursos do setor agrícola para o setor industrial, enquanto a migração rural para urbana para apoiar as demandas de mão de obra nos setores industriais iniciou uma tendência de urbanização. Entretanto, esse processo se manifesta como reflexo histórico que remete ao seu processo de colonização e traz consigo desafios socioeconômicos significativos. Monte-Mór (1994) descreve que a urbanização no Brasil foi impulsionada por três fatores centrais: (i) a integração do território nacional por meio de infraestrutura e redes de comunicação; (ii) o desenvolvimento de complexos agroindustriais que vinculem a produção rural ao consumo urbano e aos mercados de exportação; e (iii) o surgimento de novas fronteiras urbanas em regiões, onde a urbanização se confunde com a degradação ecológica e conflitos sociais. Nesse sentido, o processo de urbanização tem diminuído os níveis de biocapacidade, o que evidencia a falta de políticas de uso do solo nas áreas urbanas. As desigualdades socioeconômicas se configuram como a principal questão a ser superada, principalmente em decorrência da concentração de renda, falta de oportunidades, segregação racial e exclusão social, que estão intrinsecamente interligadas a questões relacionadas à expansão urbana e à ausência de um planejamento e regulamentação adequados. A falta de planejamento urbano, a ausência de políticas habitacionais efetivas e a exclusão social contribuem para a existência dessas condições desfavoráveis (Azevedo et al., 2019; Portes & Roberts, 2005). A violação dos direitos humanos, a pobreza e a formação de favelas são apenas alguns exemplos de como a desigualdade social se manifesta. Além disso, os ecossistemas urbanos enfrentam uma série de desafios socioecológicos, como desmatamento, incêndios, inundações, deslizamentos de terra, poluição da água e gestão inadequada de resíduos (Carrillo, 2020; Pimentel, 2022).

Giampietro (2023) descreve que ao abordarmos questões essenciais no campo da ciência da sustentabilidade, é praticamente inevitável deparar-se com níveis significativos de incerteza e uma gama diversificada de perspectivas legítimas, embora contrastantes, sobre os ideais de estados desejados ligados à identidade social. Mesmo supondo um cenário de mobilização social contra setores e governos que não estejam atendendo às suas expectativas, a ausência de alternativas e modelos proativos para lidar de forma eficaz com as principais questões continua sendo a realidade do atual cenário socioeconômico. A relação entre superar desafios transversais e persistentes e os efeitos de desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana requer, portanto, uma análise mais detalhada, considerando todos os possíveis efeitos colaterais que possam comprometer os padrões de sustentabilidade, subvalorizar melhorias na eficiência dos recursos e incorporar tecnologias de conversão na nova infraestrutura de um ecossistema circular. Nesse sentido, uma análise detalhada dos elementos "*de que*", "*para quê*" e "*para quem*", possibilitaria auxiliar o desenvolvimento de práticas e se afastar de sistemas que estão fundamentados em configurações injustas e indesejáveis (Carpenter et al., 2001). Um aspecto chave ao se avaliar o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana é compreender como os serviços ecossistêmicos afetam e são afetados pelos ciclos biogeoquímicos, ou seja, os movimentos de matéria e energia entre os componentes do sistema. Esses ciclos são frequentemente alterados devido às atividades antrópicas, tais como a queima de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes químicos, despejo de águas residuais e a disposição inadequada de resíduos sólidos. Considerando que o interesse pelos processos urbanos tem aumentado em escopo e intensidade, é fundamental contar com estruturas conceituais capazes de integrar uma abordagem transdisciplinar, bem como estratégias e práticas eficientes (Andersson et al., 2021). Assim, a utilização de indicadores capazes de capturar as entradas, saídas, transformações e retroalimentações de matéria e energia se torna essencial (Krueger et al., 2022).

A proposta de uma Bioeconomia Circular Urbana para o cenário nacional surge a partir de um questionamento epistemológico capaz de superar limitações do reducionismo na ciência econômica e proporcionar um novo quadro de análise fundamentado. As políticas direcionadas à Bioeconomia têm, historicamente, seguido uma tendência agnóstica, caracterizada por um financiamento de pesquisa determinado e elaborado "*por*" e "*para*" os setores dominantes do agronegócio convencional (Bastos Lima, 2021). Historicamente, os governos têm destinado recursos, prioritariamente, para a pesquisa e o desenvolvimento de

setores tradicionais da agricultura e pecuária. Esses setores detêm uma posição de considerável poder e influência na economia e política brasileira, sendo conhecidos por sua resistência a mudanças que possam comprometer seus interesses ou lucratividade. Essa tendência implica que as diferentes esferas de governo não possuem uma visão ou orientação clara para uma Bioeconomia que de fato seja capaz de criar valores equitativos para todas as partes interessadas, mas sim se alinha com as demandas e preferências dos setores dominantes, restringindo as oportunidades relacionados ao desenvolvimento de processos e práticas que atendam às demandas socioecológicas.

Com o propósito de apoiar esse processo, a presente pesquisa busca impulsionar a elaboração e implementação de políticas públicas mais inclusivas com ênfase em princípios éticos, a fim de superar alguns dos principais desafios urbanos persistentes no cenário nacional. A formalização de um Índice Composto para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana se torna relevante essencialmente devido sua capacidade de reunir conhecimento a fim de contribuir para a criação ecossistemas mais bem informados tornando o processo de tomada de decisão mais assertivo. Reduzir as disparidades entre a disponibilidade de dados oferece oportunidades para a construção de políticas públicas mais eficazes e fortalecer a capacidade institucional dos governos locais (Ehrlich et al., 2012; Yigitcanlar & Dizdaroglu, 2015). Além disso, a utilização de um Índice Composto pré-definido apresenta uma vantagem significativa, uma vez que oferece uma base sólida e bem fundamentada. Isso simplifica o processo de seleção e definição dos indicadores e critérios a serem considerados, bem como a identificação das relações e pesos entre eles (Saisana, 2004).

1.3 Questões e objetivos de pesquisa

A partir do escopo de pesquisa, foram desenvolvidas três questões norteadoras para o desenvolvimento da presente pesquisa.

RQ1: *Quais os elementos fundamentais para o desenvolvimento das estratégias de uma Bioeconomia Circular Urbana?*

RQ2: *Quais lacunas estratégicas limitam a possibilidade do desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana?*

RQ3: *Quais são os indicadores relevantes para o processo de avaliação do progresso da Bioeconomia Circular Urbana no cenário nacional?*

Ao abordar essas questões fundamentais, a pesquisa almeja desenvolver uma análise prospectiva a fim de compreender e antecipar possíveis cenários para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular dedicada a criar valores socioeconômicos de maneira equitativa e a superar questões transversais e persistentes para os ecossistemas urbanos no cenário nacional. Para alcançar esse objetivo geral, a pesquisa estabelece os seguintes objetivos específicos:

- (i) Fornecer uma perspectiva sobre a evolução e o estado atual da Bioeconomia Circular, analisando relação entre as teorias e principais práticas que favoreçam seu desenvolvimento;
- (ii) Investigar as características socioeconômicas, órgãos públicos e privados, assim como os principais marcos nas políticas públicas nacionais relacionados aos princípios de Bioeconomia e Economia Circular e como o estabelecimento de práticas sustentáveis pode contribuir para a criação e entregar valores socioeconômicos para todas as partes interessadas;
- (iii) Desenvolver um *Framework* Teórico adaptativo capaz de identificar *drivers* e barreiras, tendências emergentes, estratégias de negócios e indicadores relevantes e;
- (iv) Desenvolver um Índice composto por meio de uma estrutura de modelagem de valor colaborativa capaz de auxiliar os formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão a implementar prática e mensurar a maturidade de uma Bioeconomia Circular à nível local.

1.4 Estrutura da Tese

A tese foi organizada em quatro seções e organizada em nove capítulos resumidos a seguir.

A. Método de pesquisa

Capítulo 2. Design de pesquisa. Nesse capítulo são apresentados os métodos empregados ao longo da Tese, permitindo uma compreensão aprofundada de como a

pesquisa foi planejada e concebida. Além disso, são descritas as técnicas utilizadas para a coleta de dados, bem como as análises e abordagens metodológicas. As abordagens metodológicas foram selecionadas com o intuito de assegurar a robustez e a validade dos resultados obtidos, além de conferir uma confiabilidade as conclusões de pesquisa.

B. Revisão da literatura

Capítulo 3. Bioeconomia Circular - uma revisão longitudinal. O capítulo propõe o debate sobre o desenvolvimento da narrativa da Bioeconomia Circular, fornecendo percepções sobre a trajetória e o estado atual do campo de estudo, em particular, no que se refere à intersecção entre os conceitos de Bioeconomia e Economia Circular. Para tanto, foi empregada uma abordagem de métodos quantitativos que combina análise de rede bibliográfica longitudinal, análise de correspondência múltipla e agrupamento *k-means* a fim de identificar as principais fontes, autores, temas e tendências ao longo do tempo, bem como explorar as relações entre as variáveis bibliométricas e a formação de *clusters*.

Capítulo 4. O potencial de uma Bioeconomia Circular Urbana para o desenvolvimento sustentável: uma proposta de revisão integrativa. O capítulo propõe uma perspectiva de redes complexas para abordar as conexões entre os principais constructos considerados essenciais para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana. Essa perspectiva reconhece a interdependência entre os sistemas sociais e ecológicos, bem como os múltiplos benefícios que os serviços ecossistêmicos urbanos podem promover. Para tanto, uma revisão integrativa da literatura é empregada a fim de oferecer uma visão abrangente e organizada, contribuindo para o avanço da ciência e fornecendo subsídios para o progresso de pesquisa.

Capítulo 5. Transição para uma Bioeconomia Circular Urbana – *Insights* a partir das políticas públicas nacionais. O capítulo analisa as características socioeconômicas do cenário nacional e como as políticas relacionadas à gestão de resíduos, Bioeconomia e Economia Circular podem interagir, orientar e assegurar a criação de valores socioeconômicos. Para tanto, é apresentada uma revisão crítica, identificando os pontos de convergência e divergência, assim como os principais marcos para as políticas públicas nacionais. Com base nos resultados, os desafios e as oportunidades para a promoção de uma transição para uma Bioeconomia Circular Urbana são discutidas

considerando os principais mecanismos e desafios políticos associado as diferentes visões bioeconômicas e ao conceito de biorrefinaria urbana.

C. Análise

Capítulo 6. Perspectivas para uma Bioeconomia Circular em ecossistemas urbanos:

Proposta de um framework teórico. O capítulo apresenta um protocolo analítico e incrementa um *framework* teórico desenvolvido a partir de uma tipologia original. A estrutura tem o potencial de orientar estratégias conjuntas, recomendar indicadores e facilitar o reconhecimento de motivações, *trade-offs*, benefícios e co-benefícios para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana. Para tanto, foi utilizada uma abordagem sistêmica e integrada que considera o desenvolvimento sustentável por meio das soluções baseadas na natureza (NbS).

Capítulo 7. Desenvolvimento de um Índice Composto para avaliar a Bioeconomia

Circular Urbana nacional. O capítulo apresenta o processo de elaboração do Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular concebido por meio de uma estrutura de valor colaborativa utilizando um método híbrido que combina elicitação de requisitos por meio do método *Delphi* e análise multicritério utilizando o método *Macbeth*. O propósito da abordagem é facilitar a compreensão mútua dos principais elementos de avaliação e capturar as perspectivas das partes interessadas e especialistas. Isso envolve a seleção e a quantificação de um conjunto de indicadores relevantes e necessários. O Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular foi idealizado com o propósito de fornecer uma visão geral do cenário que auxilie os tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas a compreender a tendência geral e o desempenho do sistema de maneira simplificada e implementar práticas locais a fim de superar desafios transversais e persistentes no cenário urbano nacional como acesso ao saneamento básico, gestão dos resíduos sólidos, gestão de recursos hídricos, acesso à educação e saúde, preservação da biodiversidade, adaptação a eventos climáticos extremos e combate às desigualdades socioeconômicas.

D. Considerações finais

Capítulo 8. Discussão. O capítulo proporciona uma discussão crítica dos resultados obtidos e uma análise inicial de sua consonância e divergência com o estado da arte da

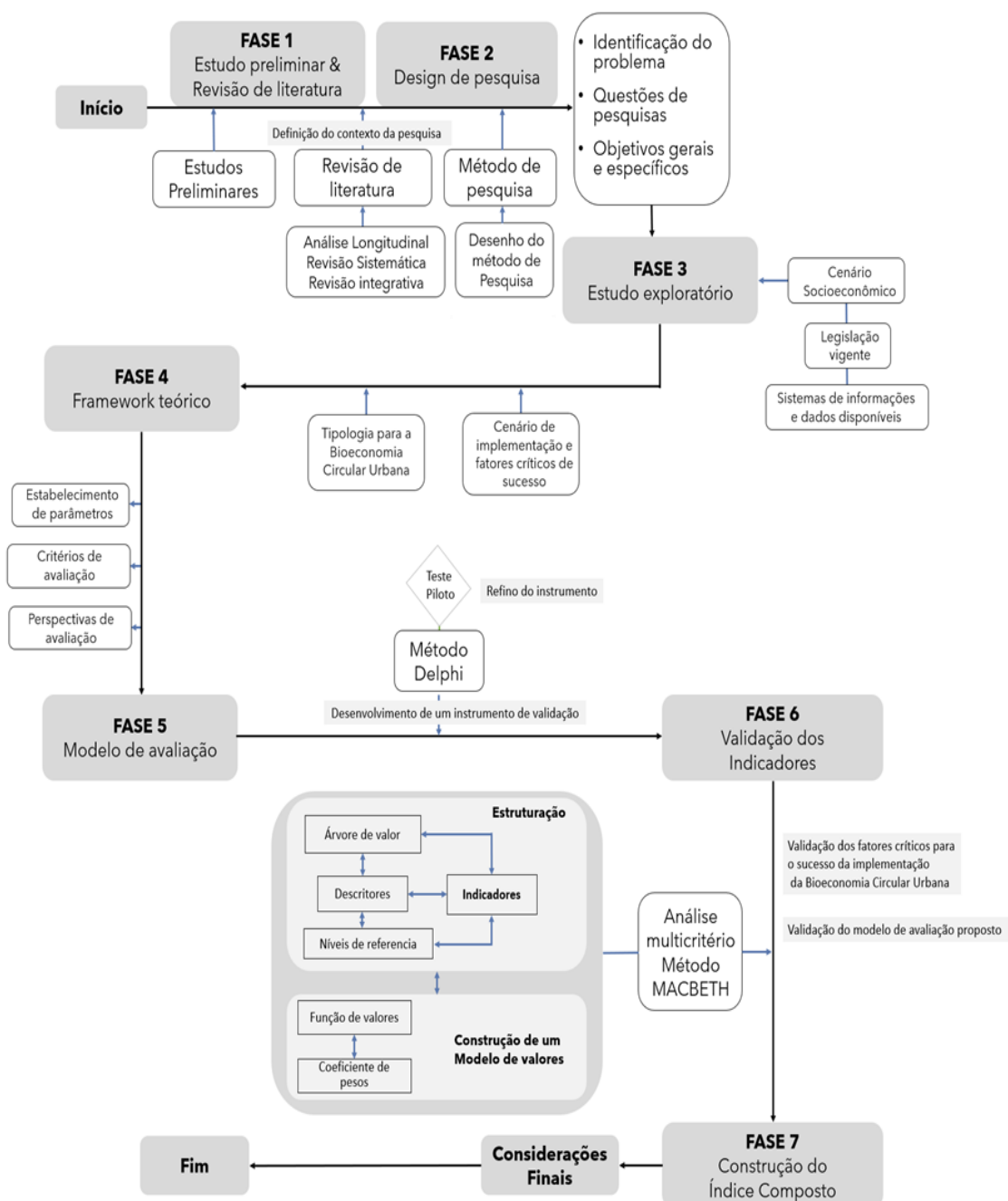
literatura. A discussão inclui explicações e interpretações dos resultados, considerando os objetivos e as questões de pesquisa, bem como os desafios enfrentados na sua condução. Além disso, são apresentados comentários sobre a relevância dos resultados para o avanço do conhecimento teórico e prático, bem como para a formulação de políticas públicas e a tomada de decisão.

Capítulo 9. Conclusão. Neste capítulo é fornecida uma análise concisa e abrangente dos resultados obtidos ao longo da pesquisa, destacando de forma expressiva os principais catalisadores, práticas e concepções abordadas. Essa análise final visa oferecer uma compreensão dos achados mais relevantes e significativos obtidos ao longo do trabalho de investigação. Além disso, são apresentadas as contribuições teóricas e práticas derivadas dos resultados, evidenciando como essas descobertas podem influenciar e impactar o desenvolvimento da narrativa. Essas contribuições têm o potencial de fornecer orientações e subsídios valiosos para formuladores de políticas públicas e gestores locais engajados na promoção de uma abordagem mais equitativa.

2. DESIGN DE PESQUISA

A utilização de qualquer método de pesquisa, envolve uma série de pressupostos ontológicos e epistemológicos implícitos ou explícitos. As hipóteses desenvolvidas a partir desses métodos envolvem premissas, teorias científicas, conceitos econômicos e sociais, dados técnicos, bem como ideias sobre a relação entre a sociedade e a biosfera (Barry et al., 2008). Nesse sentido, na Fig. 2.1 é apresentado um fluxograma dos principais métodos empregados, que integra as questões de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

Fig. 2.1 - Diagrama de correlação entre objetivo geral, objetivos específicos e métodos utilizados.



2.1 Análise bibliométrica

O objetivo de um agrupamento de dados, é descobrir padrões, sendo a análise de desempenho e o mapeamento científico as áreas de interesse para o desenvolvimento de uma análise bibliométrica (Jain, 2010). A análise de desempenho, essencialmente, considera as estatísticas das contribuições e avalia a efetividade da pesquisa por meio de indicadores tais como número de publicações, número de citações por ano, citações por publicação e índice-H. Por sua vez, o mapeamento científico considera as interrelações e analisa as conexões intelectuais e as relações estruturais entre os pesquisadores por meio de análise de citações, análise de cocitação, acoplamento bibliográfico e análise de coautoria (Donthu et al., 2021).

2.1.1 Diagrama estratégico e Mapa temático

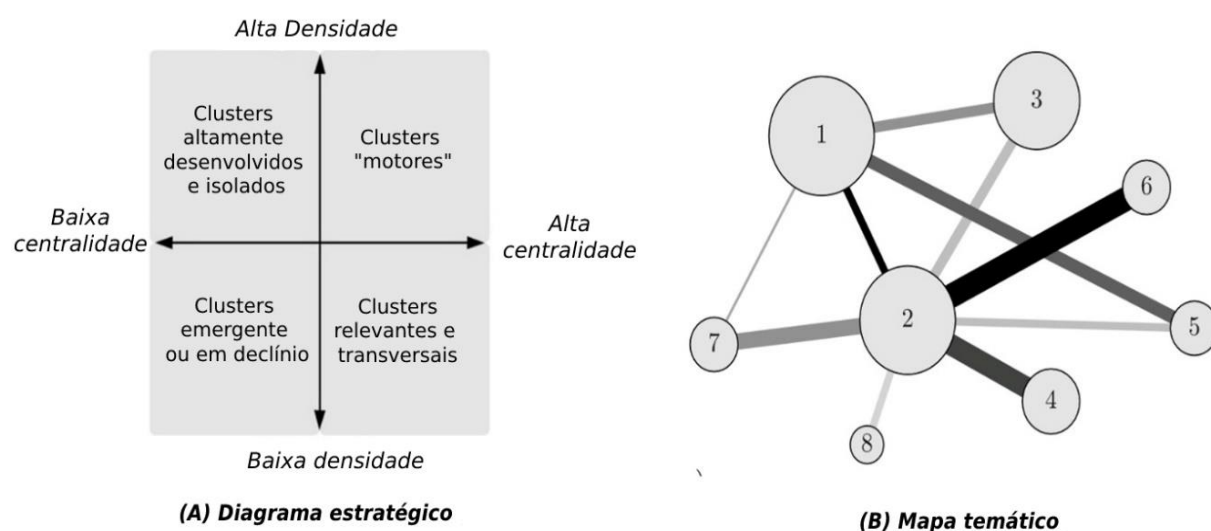
O diagrama estratégico é um gráfico de quadrante, com o *eixo y* representando a densidade e o *eixo x* a centralidade dos *clusters*. A clusterização é uma técnica de exploração de dados que permite que elementos com características semelhantes sejam agrupados para facilitar seu posterior processamento. Quando uma análise de palavras correlacionadas é aplicada para mapear a literatura, grupos de palavras-chave e suas relações são gerados. Nos diagramas estratégicos esses *clusters* são chamados de "temas" (Martínez et al., 2014). A densidade dos temas pode ser utilizada para identificar áreas com maior ou menor ocorrência de eventos ou dados em um gráfico. Quando uma região do gráfico apresenta uma maior concentração de pontos, essa região possui uma maior densidade de dados. A centralidade, por outro lado, pode ser utilizada para compreender onde se concentram os valores mais representativos, fornecendo uma medida de tendência dos dados. Assim, um campo de pesquisa pode ser considerado uma coleção de tópicos de estudo em um espaço bidimensional (Cobo et al., 2011).

A mediana e a média da densidade e centralidade podem ser usadas para categorizar os temas em quatro quadrantes. Os "temas motores", localizados no quadrante superior direito apresenta altos valores de centralidade e densidade, indicando tópicos gerais, desenvolvidos que exercem forte influência sobre os temas de mais. Os "temas básicos e transversais" localizados no quadrante inferior direito têm altos valores de centralidade e baixa densidade, o que indica que são tópicos gerais, mas pouco desenvolvidos, esses temas têm o potencial para crescer e interagir com outros temas. Os "temas emergentes ou em

declínio" localizados no quadrante inferior esquerdo tem baixos valores de centralidade e densidade, indicando que são tópicos específicos que representa temas periféricos e apresentam pouca influência, podendo representar novas tendências ou interesses em declínio no campo de pesquisa. Por fim, os "temas altamente desenvolvidos e isolados" localizados no quadrante superior esquerdo apresentam baixa centralidade e alta de densidade, indicando que são tópicos específicos e bem desenvolvidos. Eles podem representar áreas de nicho ou lacunas no campo de pesquisa (Cobo et al., 2012).

A rede temática é uma representação gráfica em forma de rede, construída a partir da associação de palavras-chave relacionadas a um tema específico.. O mapa de evolução temática é um dos diagramas que melhor expressa informações, levando em consideração critérios como o número de documentos ou citações relacionadas. Ao contrário das abordagens estáticas, que ignoram a dinâmica temporal de um campo de pesquisa, o mapeamento temático permite a identificação de associações entre temas de pesquisa dentro e entre diferentes redes resolvidas no "eixo" temporal. Dessa forma, os temas são representados como esferas, cujo tamanho é proporcional à quantidade de dados relacionados (Cobo et al., 2012). A Fig. 2.2 ilustra o diagrama estratégico de acordo com seus valores de centralidade e densidade e as conexões do mapa temático.

Fig. 2.2 - Esquema dos quatro quadrantes de um mapa temático e esquema de uma rede temática.



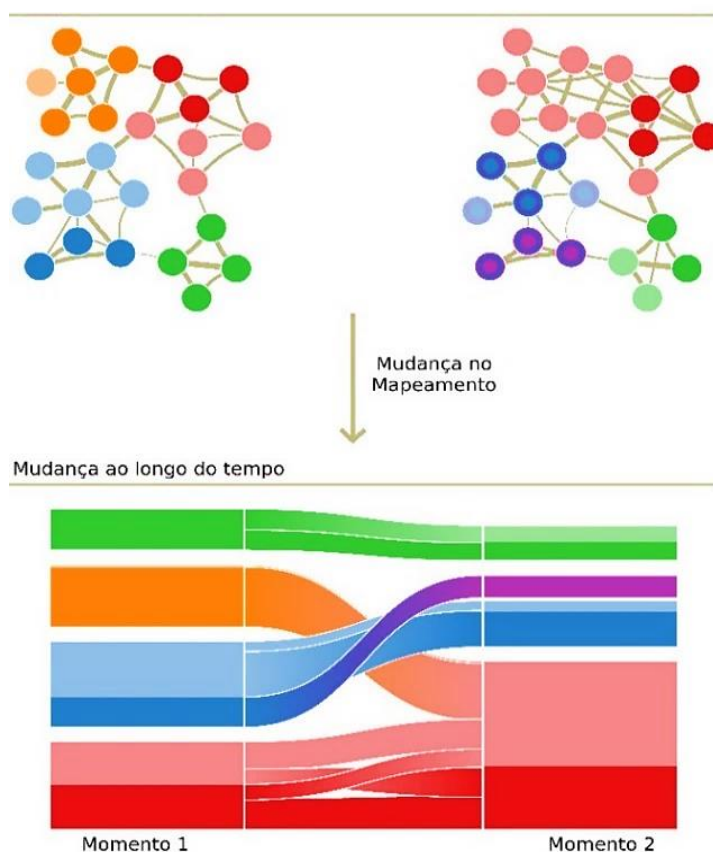
Fonte: Cobo et al. (2011).

2.1.2 Evolução temática

A evolução temática é um fator que afeta a efetividade e os resultados das buscas, sendo um desafio constante quanto a análise de dados referentes a diferentes períodos. Um dos desafios da evolução temática é lidar com a variabilidade e a inconsistência de palavras-chave ou termos em diferentes períodos. Alguns termos podem se tornar obsoletos ou mudar de significado ao longo do tempo, enquanto novos termos podem aparecer ou se fundir com os existentes. Isso pode afetar a precisão e a comparabilidade dos mapas temáticos. Embora as redes e as técnicas de clusterização tenham crescido em importância como ferramentas para compreender estruturas de grande escala, essas técnicas não distinguem como as redes se desenvolvem, uma vez que carecem de maneiras de discriminar entre tendências reais e dados de "ruído". Esta distinção só será possível atribuindo significado à divisão de redes únicas e distinguindo mudanças estruturais significativas de flutuações aleatórias (Parlina et al., 2020).

O diagrama aluvial, uma técnica relativamente simples, pode auxiliar na identificação de *insights* para a análise de dados. O diagrama aluvial corresponde a uma variante do gráfico de coordenadas paralelas comumente empregado para ilustrar as mudanças temporais na composição de uma rede. O termo "aluvial" refere-se à forma como esses diagramas são criados. Assim como um rio deposita sedimentos ao longo de suas margens, os diagramas aluviais mostram a acumulação de dados ao longo de eixos, resultando em uma representação visual do comportamento dos dados. Os diagramas aluviais podem ser utilizados como resumos gráficos dos dados demográficos presentes em estudos, incluindo, relatórios bibliométricos, revisões sistemáticas ou meta-análises. Esses resumos gráficos permitem descobrir padrões de dados e perceber a relação entre colunas adjacentes onde blocos são usados em cada eixo para indicar valores (Rosvall & Bergstrom, 2010). Após obter os *clusters* significativos para a rede em cada ponto no tempo (ou estado), é importante revelar as tendências nos dados, simplificando e destacando as mudanças estruturais. Na etapa de mapeamento de mudanças, conforme ilustrado na Fig. 2.3, um diagrama aluvial para destacar e resumir as diferenças estruturais entre os *clusters* de significância entre o "momento 1" e o "momento 2". Cada *cluster* é representado por um bloco de cor correspondente no diagrama aluvial. Os blocos de cores mais escuras representam nós que possuem significância estatística, enquanto as cores mais claras indicam atribuições não significativas.

Fig. 2.3 - Mapeamento de mudanças nas redes.



Fonte: Rosvall & Bergstrom (2010).

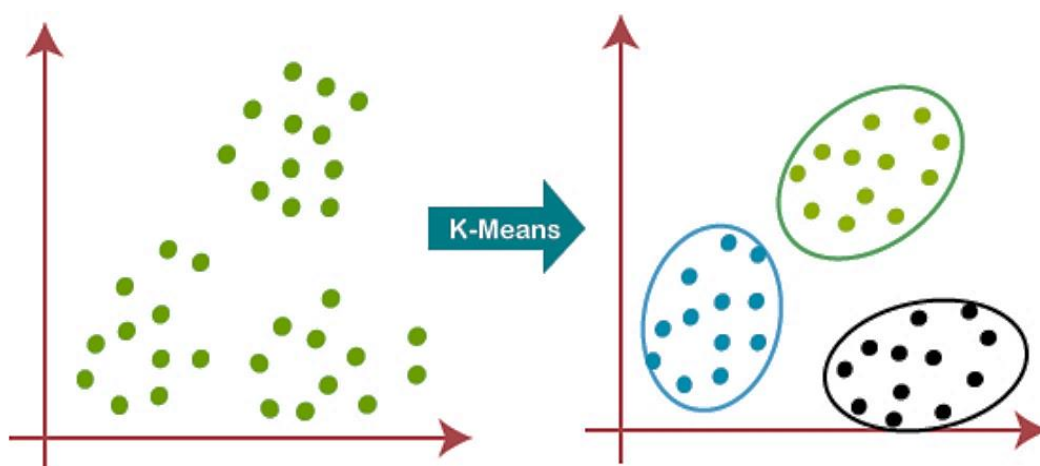
2.1.3 Análise de Correspondência Múltipla e agrupamento *k-means*

A análise de correspondência múltipla é um método de análise de dados categóricos nominais usado para identificar e visualizar padrões subjacentes em uma coleta de dados. Os dados são representados como pontos em um espaço euclidiano de baixa dimensão. Ao estender a análise de correspondência para incluir várias variáveis dependentes categóricas é possível examinar as correlações entre variáveis dependentes categóricas (Boutsinas & Papastergiou, 2008). Como resultado, também pode ser considerada uma extensão da análise de componentes principais quando variáveis categóricas em vez de quantitativas estão sendo analisadas. Tecnicamente, uma matriz de indicadores é submetida a uma análise de correspondência típica para produzir a análise de correspondência múltipla, ou seja, uma matriz cujas entradas são 0 ou 1 (Greenacre, 1991).

O objetivo da análise *K-means* é minimizar a soma do erro quadrado sobre todos os "*K clusters*". O agrupamento visa encontrar uma maneira de dividir as observações de modo que cada observação pertença ao *cluster* com a média mais próxima e o erro quadrado entre os pontos de cada cluster e sua média empírica seja o menor possível. Essa abordagem

permite a classificação do número ideal de classes. Em outras palavras, o agrupamento de dados agrupa objetos com características ou atributos semelhantes. O particionamento inicial com K clusters e k observações é escolhido na primeira fase do método *k-means*. As observações são então adicionados no agrupamento ao qual estão mais próximas após o cálculo das distâncias entre as outras observações para cada um dos agrupamentos k . Depois de realizar esse agrupamento, cada observação é verificada quanto a distância de outros clusters. Este processo é repetido até que todas as observações sejam necessárias para seus agrupamentos e não sejam necessárias mais trocas (A. K. Jain, 2010). A Fig. 2.4 ilustra um conjunto de pontos de dados em seus respectivos clusters de forma simplificada.

Fig. 2.4 - Agrupamento por similaridade intracluster e interclusters.



2.2 Revisão Integrativa da Literatura

A revisão integrativa da literatura é um método específico que sintetiza a literatura existente visando oferecer uma compreensão abrangente de um fenômeno específico (Broome, 2000). Devido ao aumento contínuo da quantidade e complexidade das informações disponíveis, o desenvolvimento de métodos de análise se tornou essencial no âmbito da pesquisa cientificamente embasada, com o intuito de estabelecer etapas metodológicas mais concisas e facilitar a utilização mais efetiva das evidências obtidas em numerosos documentos. Nesse sentido, a revisão integrativa surge como uma metodologia que promove a síntese do conhecimento e a incorporação da aplicabilidade de resultados de estudos significativos (Whittemore & Knafl, 2005).

As revisões integrativas representam o tipo mais abrangente de revisão de pesquisa, pois permitem a inclusão simultânea de estudos experimentais e não experimentais, visando compreender de maneira mais completa um fenômeno de interesse. Essas revisões também podem combinar dados provenientes da literatura teórica e/ou empírica, abrangendo uma ampla gama de propósitos, como definição de conceitos, revisão de teorias, análise de evidências e exploração de questões metodológicas relacionadas a um tema específico (Souza et al., 2010). A diversidade da amostra, juntamente com a multiplicidade de propósitos, apresenta o potencial de fornecer uma visão abrangente de conceitos complexos, teorias ou questões essenciais para o campo de estudo em questão. O processo de realização de uma revisão integrativa é composto por seis fases, conforme apresentado de forma resumida na Tab. 2.1.

Tab. 2.1 - Fases de uma revisão integrativa

Etapa	Desenho das decisões
Identificação do problema	A fase de identificação visa selecionar quais documentos serão incluídos, determinar os métodos utilizados para a identificação de artigos relevantes e definir os dados que serão coletados. Considerando a importância do desenvolvimento da Bioeconomia Circular urbana como uma mudança de paradigma, é crucial que as estratégias adotadas sejam coerentes para garantir o sucesso da narrativa. A presente pesquisa questiona a abordagem convencional que tende a excluir trajetórias socioecológicas, o que dificulta a abordagem de desafios ambientais complexos. Para alcançar esse objetivo, serão utilizadas a Teoria de Redes Complexas (Watts & Strogatz, 1998) e a Teoria da Ação Coletiva (Olson, 1971) como pano de fundo para desenvolver uma revisão integrativa que considere as implicações socioéticas e ecológicas envolvidas. Ao utilizar a Teoria de Redes Complexas, pretende-se analisar as interconexões e interdependências dos elementos envolvidos na Bioeconomia Circular urbana, compreendendo sua dinâmica e impactos. A Teoria da Ação Coletiva, por sua vez, auxiliará na compreensão dos fatores que influenciam a cooperação e a coordenação dos atores envolvidos, identificando possíveis desafios e soluções para promover uma transição bem-sucedida.
Pesquisa e amostragem	Os critérios de amostragem desempenham um papel crucial na garantia da representatividade da amostra, uma vez que isso é fundamental para assegurar a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. Nesse sentido, o critério adotado para a seleção da amostra foi o potencial de combinar diferentes perspectivas, a fim de estabelecer um referencial teórico relevante que os pesquisadores possam explorar em investigações futuras. A escolha da amostra baseou-se na consideração da complementaridade das diferentes perspectivas e na possibilidade de sinergias entre elas. Dessa forma, busca-se obter uma amostra abrangente que englobe uma variedade de abordagens e contextos, visando enriquecer a compreensão da narrativa.
Coleta de dados	De acordo com Souza et al. (2010) é imprescindível a utilização de um instrumento estruturado para a extração dos dados dos artigos selecionados na amostra, garantindo a inclusão de todas as informações relevantes e reduzindo a possibilidade de erros de transcrição. Esse instrumento desempenha um papel fundamental ao atuar como um protocolo de pesquisa em cinco passos: (i) identificação das questões de pesquisa; (ii) identificação dos artigos; (iii) seleção e avaliação dos artigos por meio de critérios de inclusão (e exclusão); (iv) análise e síntese; e (v) elaboração do relatório final. Essa abordagem sistemática proporciona consistência na coleta e análise dos dados, permitindo uma compreensão mais abrangente do fenômeno em estudo e a apresentação coerente dos resultados obtidos na revisão integrativa da literatura.

Análise crítica da amostra	Assim como na análise convencional de dados de pesquisa, essa fase requer uma abordagem metódica para avaliar a validade e as características dos estudos. O conjunto principal de literatura selecionada, que constitui a amostra, foi obtido a partir da combinação de três sequências de pesquisa distintas, utilizando diferentes combinações de termos de busca. As buscas foram realizadas em agosto de 2022. A amostra final é composta por um total de 79 documentos.
Discussão dos resultados ^a	Os dados obtidos na análise dos documentos foram comparados à estrutura teórica estabelecida, por meio da interpretação e síntese dos resultados. As principais discussões baseiam-se em: (i) a conexão entre a bioeconomia e as narrativas da economia circular requer uma conceitualização que vá além de uma visão centrada em recursos, reconhecendo o papel do capital natural, impactos e dependências; (ii) destaca-se a interação entre as atividades econômicas, os ecossistemas naturais e o desenvolvimento sustentável, reconhecendo que o crescimento ilimitado é uma falácia; (iii) a narrativa da bioeconomia circular urbana enfrenta desafios na sua conexão com a sustentabilidade urbana; (iv) é essencial a adoção de serviços ecossistêmicos por formuladores de políticas e tomadores de decisão; e (v) as tecnologias de tratamento de resíduos biológicos têm o potencial de transformar resíduos em novos produtos e criar valor socioeconômico.
Apresentação	A classificação dos dados foi conduzida com base em múltiplos critérios, incluindo o tipo de incidente, a cronologia dos eventos e as características específicas da amostra. Além disso, foram consideradas classificações conceituais pré-determinadas pelo autor, as quais contribuíram para uma análise mais aprofundada e precisa dos dados. Essa abordagem criteriosa permitiu uma organização sistemática dos dados, facilitando a identificação de padrões e tendências relevantes para o estudo em questão.

^a = para proteger a validade da revisão integrativa, o pesquisador deve salientar suas conclusões e inferências, bem como explicitar os vieses.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2010).

2.2.1 Análise de dados utilizando o Software ATLAS.ti

De acordo com Woods et al. (2016), o *ATLAS.ti* é uma ferramenta de análise de dados não estruturados, que permite a codificação de recursos e a organização de informações relacionadas a ideias ou conceitos subjacentes ao fenômeno investigado. Para o processo de análise, o *ATLAS.ti* oferece diversas funcionalidades como: (i) Unidade hermenêutica, que possibilita a compreensão do texto como um todo por meio da referência às partes individuais e a compreensão das partes individuais em relação ao todo; (ii) "Triturador" de palavras: por meio do *Word Cruncher*, é possível realizar uma análise de conteúdo e obter uma lista com as contagens de frequência das palavras utilizadas; (iii) Codificação *in-vivo*: permite marcar frases, sentenças e outras passagens relevantes nos dados de texto, que estejam relacionadas às questões de pesquisa ou à área de estudo; (iv) Codificação aberta: consiste na criação de um conjunto de códigos para identificar e dar significado aos conceitos que definem o fenômeno investigado. Essa codificação é realizada por meio de uma microanálise das palavras-chave, frases ou parágrafos; (v) Codificação axial: envolve o agrupamento das categorias identificadas na codificação aberta, por meio de comparações contínuas e

sucessivas, buscando reduzir os dados e identificar relações entre as categorias e (vi). Codificação seletiva: nessa etapa, são identificadas a categoria central do fenômeno investigado e suas subcategorias. Essa codificação envolve um nível mais elevado de abstração e os resultados podem ser expressos por meio de teorias substantivas, modelos conceituais explicativos ou matrizes teóricas.

O ciclo de codificações, ou seja, as fases aberta, axial e seletiva deve ser finalizado quando alcançado uma saturação teórica. Nesse sentido, a Revisão Integrativa da Literatura é desenvolvida em três principais estágios de codificação para a análise de dados com base em Corbin & Strauss (2014). Estágio I: No primeiro estágio de análise, são utilizadas a codificação aberta e a codificação *in vivo*. Essas abordagens permitem uma análise detalhada e comparação de pequenos segmentos de dados. Os códigos gerados nesse estágio representam conceitos teóricos e/ou descritivos relevantes. De acordo com Lewis (2016), a codificação nessa etapa representa uma primeira tentativa de agrupar sistematicamente segmentos que são instâncias dos aspectos de interesse da pesquisa, ou representar ideias interessantes que precisam ser consideradas nas etapas posteriores da análise. Estágio II: No segundo estágio de análise, os códigos semelhantes são agrupados e fundidos em categorias de ordem superior, sendo continuamente comparados e revisados por meio de uma codificação axial. Essa etapa é embasada na teoria de Schutz sobre construções de primeira e segunda ordem. Britten et al. (2002) destaca que as construções de primeira ordem se referem aos entendimentos cotidianos, enquanto as construções de segunda ordem são as construções das ciências sociais. Nesse sentido, os códigos gerados no estágio anterior são refinados e convertidos em termos mais úteis, de acordo com a base de evidências. Códigos similares ou relacionados são fundidos, enquanto os códigos pouco utilizados ou irrelevantes são eliminados durante essa codificação. Estágio III: Durante a terceira etapa de análise, é realizada a codificação seletiva. Os dados e códigos são reexaminados em busca de temas, conceitos e conexões. O *ATLAS.ti* facilita a criação de redes, que permitem encadear vários códigos e vincular anotações ou citações. Essa funcionalidade é essencial para identificar e visualizar conceitos, temas e padrões por meio de representações visuais qualitativas de dados, como os diagramas de rede. Além disso, o *ATLAS.ti* utiliza métodos de rede e mapeamento para identificar códigos que coocorrem com frequência. Por fim, o software também auxilia na geração de diagramas de citação de códigos interligados, facilitando o estudo das análises propostas. Ao concluir a codificação nessa etapa, é possível apresentar linhas de argumento para os temas e padrões abrangentes identificados.

2.3 Revisão sistemática da literatura

Uma revisão sistemática é um método e processo de pesquisa que visa identificar e avaliar criticamente estudos relevantes, bem como coletar e analisar seus dados. No entanto, é importante reconhecer que pode haver um viés de seleção dos documentos a se analisar em revisões sistemáticas. Esse viés ocorre quando os critérios de inclusão e exclusão para a revisão não são estabelecidos de forma clara e prévia, ou quando são restritos de maneira que possa enviesar os resultados (Liberati et al., 2009). O objetivo de uma revisão sistemática é identificar as evidências empíricas que se enquadrem nos critérios de inclusão pré-especificados, a fim de responder a uma questão ou hipótese de pesquisa. Ao adotar métodos explícitos e sistemáticos para revisar documentos e evidências disponíveis, é possível minimizar o viés e obter resultados confiáveis, dos quais conclusões e decisões podem ser embasadas. Essa abordagem visa fornecer uma atualização da literatura analisando de forma detalhada os pontos críticos do conhecimento existente e identificando áreas que requerem uma análise mais aprofundada (Boland et al., 2017).

O primeiro passo para conduzir uma revisão sistemática é estabelecer uma "Ideia Inicial" por meio de uma pesquisa utilizando *strings* de busca. O objetivo dessa etapa é determinar se o tema em questão é abrangente demais e se é necessário restringir o foco para uma análise mais específica. Uma vez que o foco da revisão é estabelecido, é possível realizar a identificação dos documentos mais específicos relacionados às variáveis envolvidas na questão em análise. Isso envolve a aplicação de critérios de inclusão e exclusão para selecionar os estudos relevantes que serão incluídos na revisão (Carrera-Rivera et al., 2022). Realizar uma revisão sistemática oferece várias vantagens e contribuições significativas. Por exemplo, é possível determinar se um efeito é consistente entre estudos e identificar lacunas na literatura e quais estudos futuros devem ser conduzidos para fornecer uma visão mais completa do fenômeno em questão. É possível também investigar como as características do nível de estudo ou da amostra podem influenciar o fenômeno em análise, bem como identificar diferenças significativas nos resultados entre estudos (Davis et al., 2014).

2.4 Revisão longitudinal da literatura

As revisões longitudinais são uma abordagem que permite observar a evolução de um tema ou campo de estudo ao longo do tempo. Elas são consideradas uma ferramenta eficaz

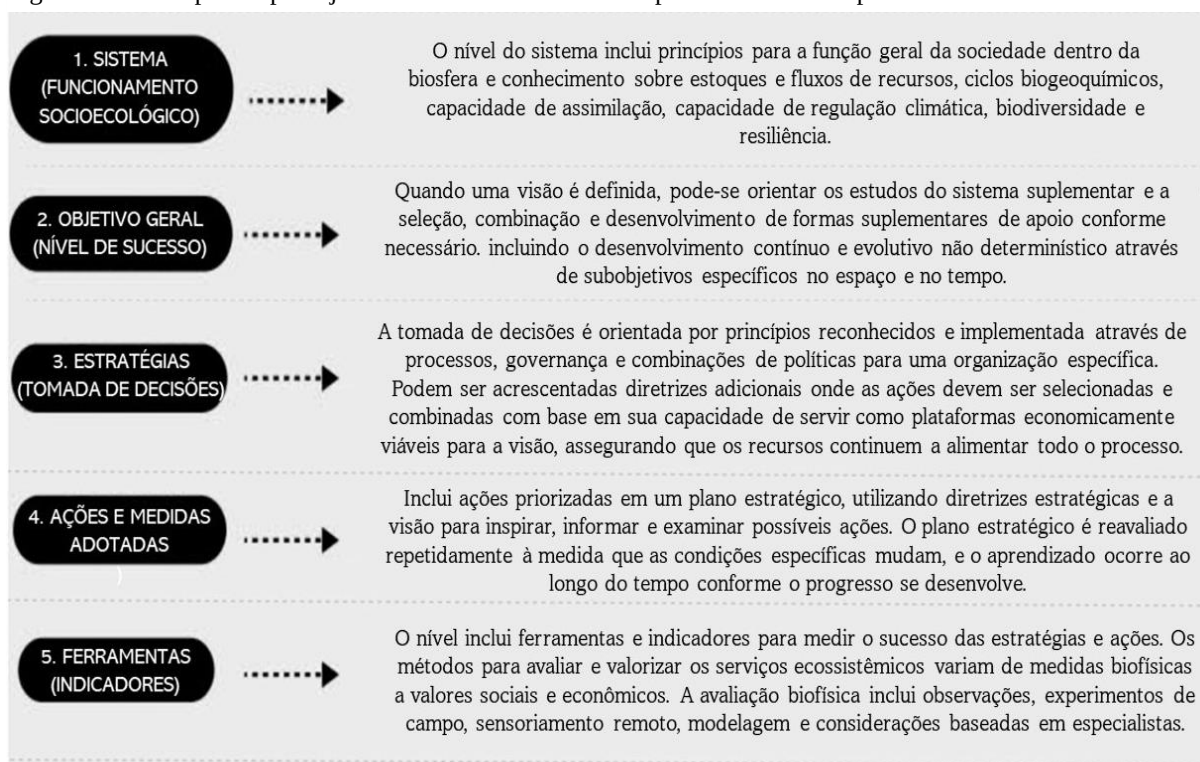
para a avaliação de mudanças com base em evidências de pesquisa. Essa modalidade de revisão proporciona uma compreensão abrangente da trajetória das bases de evidências, fornecendo percepções sobre a eficácia, segurança e resultados relacionados ao desenvolvimento de intervenções ou novas políticas. Ao considerar as transformações no campo de estudo, bem como as características demográficas, intervenções e resultados ao longo do tempo, as revisões longitudinais oferecem uma visão mais abrangente das tendências e padrões, permitindo uma compreensão aprofundada do tema em questão (Saldaña, 2003). As revisões longitudinais também permitem o monitoramento de possíveis mudanças nas tendências ou padrões de pesquisa, como o surgimento de novos tratamentos ou abordagens, a evolução de práticas ou a mudança de foco em determinadas áreas de pesquisa (Lerner et al., 2009).

Para realizar uma revisão longitudinal de forma eficaz, é possível seguir alguns passos práticos. Em primeiro lugar, é importante definir claramente a pergunta de pesquisa, especificando o período de interesse para a revisão. Isso servirá como guia para a estratégia de busca, a extração de dados e a síntese das evidências. Realizar buscas abrangentes em bases de dados relevantes e outras fontes em vários pontos de tempo também é crucial. É recomendado seguir estratégias de busca padronizadas e diretrizes estabelecidas para revisões sistemáticas, a fim de garantir rigor e reprodutibilidade. A extração e o gerenciamento dos dados devem ser feitos de acordo com protocolos estabelecidos, utilizando ferramentas apropriadas de gerenciamento de referências. Isso garantirá consistência e precisão ao longo do processo. A síntese das evidências ao longo do tempo pode ser realizada por meio de métodos adequados, como meta-análise, síntese narrativa ou análise temática. Também é essencial avaliar a qualidade e a força da evidência em cada ponto de tempo para obter resultados confiáveis e significativos (Cook & Ware, 2003; Kehr & Kowatsch, 2015).

2.4.1 Estrutura para o Desenvolvimento Estratégico Sustentável

O *Framework for Strategic Sustainable Development* (FSSD) é uma abordagem baseada nos princípios da ciência da sustentabilidade, reconhecendo a interdependência dos sistemas sociais, econômicos e ecológicos. Seu propósito é identificar práticas insustentáveis em vez de tratar apenas dos sintomas ou buscar melhorias incrementais, buscando auxiliar tomadores de decisão, instituições e a sociedade como um todo a alcançar metas de longo prazo. Ao seguir o FSSD (ver Fig. 2.5), instituições e sociedade podem desenvolver uma compreensão abrangente dos desafios, estabelecer metas claras e implementar ações estratégicas de longo prazo (Anderson, 2016). A estrutura proporciona uma abordagem estruturada e sistemática, permitindo que os tomadores de decisão enfrentem a complexidade e a incerteza, ao mesmo tempo em que promovem mudanças transformadoras. As características do FSSD permitem que os usuários gerenciem sistemas, avaliem racionalmente compensações e calculem o potencial de recursos sustentáveis (Broman & Robèrt, 2017).

Fig. 2.5 - FSSD para o planejamento e tomada de decisão para sistemas complexos.



Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Broman & Robèrt (2017).

2.5 Desenvolvimento do Índice Composto a partir de uma Estrutura de Modelagem Colaborativa de Valor

Os índices compostos são ferramentas que combinam duas ou mais variáveis para mensurar o desempenho ou a tendência de um determinado cenário. Eles desempenham um papel relevante ao proporcionar uma visão abrangente e precisa de uma área específica ou segmento de mercado, permitindo a análise de tendências e padrões em cenário mais amplo (Booyesen, 2002). Uma definição válida é *“um índice composto é formado quando indicadores individuais são compilados em um único índice, com base em um modelo subjacente do conceito multidimensional que está sendo medido”* (Nardo et al., 2005, p.8). Nesse sentido, um índice composto é, em sua essência, capaz de retratar um sistema complexo composto por diversos elementos, contribuindo para uma compreensão abrangente, em vez de simplificá-lo a seus elementos individuais. Mesmo considerando que essa complexidade, sob a perspectiva biológica se refira ao efeito causal das interações das partes no sistema como um todo (Rosen, 1991).

A qualidade de um índice composto, bem como a solidez das mensagens que transmite, dependem não só da metodologia utilizada na sua construção, mas sobretudo da qualidade do quadro e dos dados utilizados. Uma composição baseada em uma base teórica fraca ou em dados incertos contendo erros de medição pode levar a mensagens políticas questionáveis, apesar do uso de uma metodologia robusta em sua construção (OECD, 2008). Em cenários de avaliação envolvendo vários atores nos quais sistemas de valores diversos e muitas vezes divergentes estão presentes e devem ser conciliados, há necessidade de um suporte adequado para atingir simultaneamente dois objetivos complementares. O objetivo técnico de desenvolver um modelo coerente de valores que sintetiza as múltiplas perspectivas, ou seja, objetivos individuais e julgamentos de valor sobre o problema em questão e, o objetivo social de criar um alinhamento coletivo em torno do modelo em construção (Vieira et al., 2020). Nesse sentido para corresponder aos objetivos técnicos e sociais, a presente pesquisa propõe uma estrutura de modelagem de valor colaborativa, que combina os métodos *Delphi* e conferência de decisão multicritério *Macbeth*, a fim de construir um modelo de avaliação colaborativa e abrangente.

2.5.1 Método Delphi

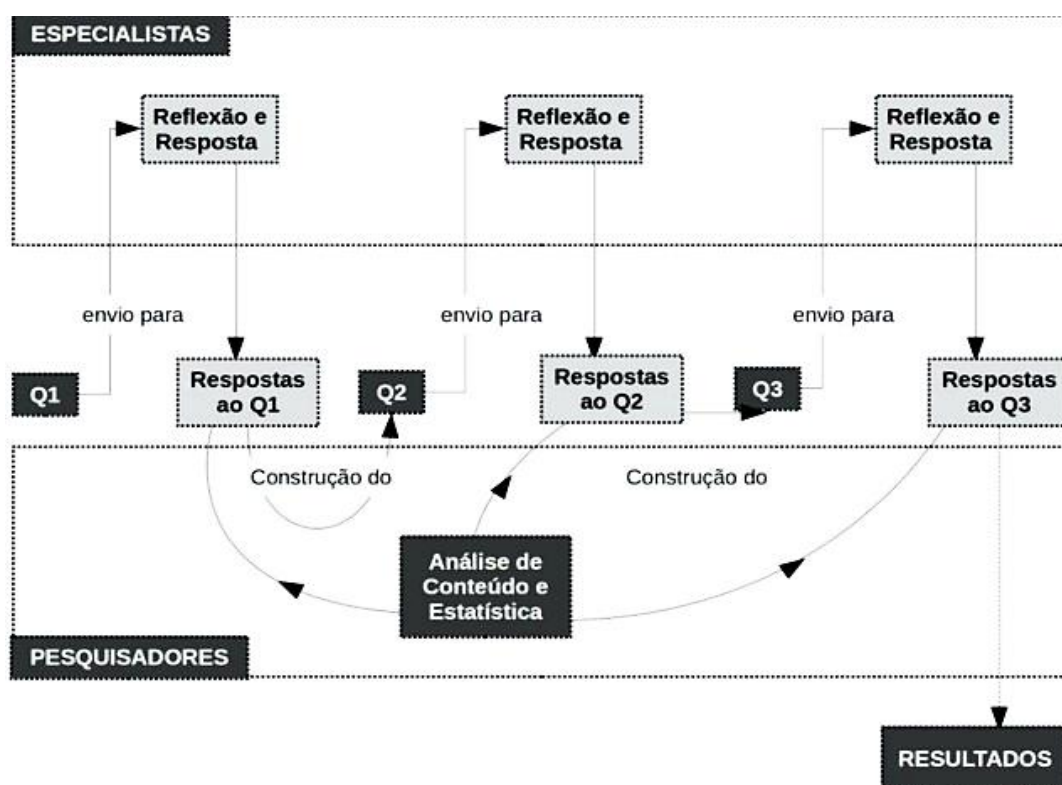
Uma abordagem baseada no método *Delphi* foi selecionada devido às características específicas da pesquisa. O método Delphi é uma abordagem estruturada de comunicação em grupo e uma ferramenta de previsão que envolve rodadas de pesquisa em grupos heterogêneos (Hsu & Sandford, 2007). Em essência, o método *Delphi* é utilizado para alcançar um consenso informado dentro de um grupo em relação a um problema complexo. Quatro características principais distinguem o método Delphi de outros processos de tomada de decisão em grupo, incluindo o anonimato dos participantes, a iteração com *feedback* controlado, a obtenção de respostas de um grupo estatístico e a incorporação da expertise de especialistas (Goodman, 1987). O *Delphi* é especialmente útil em situações em que há incertezas, como tomadas de decisão, políticas ou previsões de longo prazo. O método pode ser aplicado para coletar opiniões de especialistas em diversas áreas, como economia, política, tecnologia e sociedade em geral, a fim de obter *insights* sobre tendências, oportunidades e desafios. Dessa forma, o método permite reunir conhecimento especializado e explorar diferentes perspectivas para auxiliar na tomada de decisões informadas. Uma pesquisa *Delphi* consiste em pelo menos duas rodadas, com o objetivo de iterar a pesquisa em direção aos caminhos mais relevantes e capturar possíveis mudanças nas opiniões dos especialistas ao confrontar argumentos das rodadas de respostas anteriores (Mahajan et al., 2006).

O grupo de participantes consiste em uma amostra proposital denominado "painel *Delphi*". A literatura relata aplicações do método *Delphi* em uma variedade de cenários, muitos dos quais, envolvendo um número elevado de participantes e reconhecido como uma valiosa técnica de aquisição de conhecimento (Devaney & Henchion, 2018; Hurmekoski et al., 2019). Recomenda-se que, no processo de elicitação, estejam envolvidos pelo menos quinze a trinta participantes com formação homogênea, ou seja, provenientes da mesma área de pesquisa. No entanto, também é aceitável ter a participação de pelo menos dez participantes com formação heterogênea, ou seja, provenientes de diferentes áreas. Essa diversidade de participantes contribui para diferentes perspectivas e *insights* sobre o problema em questão, enriquecendo a qualidade das respostas e reduzindo a possibilidade de viés (Clayton, 1997).

Skulmoski et al. (2007) destacaram que em 80% dos casos que utilizaram o método *Delphi*, o tamanho do painel de participantes variou entre 20 e 50 especialistas. É importante

considerar que um número baixo de participantes pode limitar o escopo das informações capturadas, além de aumentar o risco de falta de dados essenciais. Por outro lado, ter um número muito alto de participantes pode resultar em conflitos não construtivos, sobrecarga de dados e *outliers* que podem distorcer os resultados. Portanto, é necessário encontrar um equilíbrio adequado na seleção do número de participantes para garantir a qualidade e relevância das informações obtidas (Rowe & Wright, 2001). Na presente pesquisa, o grupo de participantes foi selecionado utilizando a técnica bola de neve, conforme proposto por Goodman (1961). A seleção foi baseada no escopo da pesquisa e levou em consideração uma série de critérios distintos. Isso incluiu a presença de autores e sua participação em documentos científicos, políticas e órgãos públicos, bem como de perfis profissionais localizados na plataforma *Linkedin*. A Fig. 2.6 ilustra a aplicação do método Delphi.

Fig. 2.6 - Esquema genérico de implementação do método Delphi com três rodadas.



Fonte: Marques et al. (2018).

Keeney et al. (2001) enfatizam a importância da realização de um teste piloto como um fator de aprimoramento na implementação do método. Isso ajuda a minimizar o tempo gasto pelos especialistas e garante maior rigor no processo. Os testes-piloto são particularmente valiosos para abordar possíveis críticas em relação à elaboração das perguntas da primeira rodada, à seleção dos métodos de medição e à análise dos dados nas rodadas subsequentes. Um teste piloto também pode ajudar a identificar possíveis problemas

ou desafios que possam surgir no estudo Delphi real, como recrutamento, taxa de resposta, atrito e comunicação (Clibbens et al., 2012). No presente estudo, a utilização de um teste piloto proporcionou identificar e solucionar eventuais equívocos ou problemas relacionados à pesquisa. As descobertas e os *feedbacks* obtidos possibilitaram realizar os ajustes e refino necessários, assegurando que possíveis limitações, ambiguidades ou vieses de pesquisa fossem superados.

2.6 Análise de decisão multicritério

A *Multiple-criteria decision analysis* (MCDA), é definida como uma abordagem sistemática para realizar uma análise comparativa de opções concorrentes de desempenho em critérios múltiplos e frequentemente conflitantes (Keeney et al., 1993). A MCDA preocupa-se com a avaliação de um conjunto de possíveis cursos de ação ou alternativas. Essa avaliação pode assumir várias formas como selecionar uma alternativa preferida, classificar as alternativas da melhor para a pior e classificar as alternativas em classes ordenadas. O conjunto de alternativas pode ser explicitamente definido e discreto em números ou definido implicitamente por meio de restrições em uma formulação de programação matemática. Nesse sentido, os métodos multicritério compartilham a perspectiva de que as decisões podem ser aprimoradas por meio da decomposição da avaliação geral de alternativas em avaliações de múltiplos critérios frequentemente conflitantes e relevantes para o problema em questão (Durbach & Stewart, 2012). Os critérios podem ser definidos em termos bastante gerais, mas cada um deve ser associado a um atributo mensurável que forneça uma escala quantitativa ou qualitativa para avaliar o desempenho do critério subjacente (Alwaer & Clements-Croome, 2010).

A função dos MCDA consiste em auxiliar o tomador de decisão na seleção da alternativa mais favorável dentre diversas opções possíveis. Para tanto, tais métodos consideram uma pluralidade de critérios que caracterizam a aceitabilidade das variantes individuais de decisão. Os critérios também podem graduar a qualidade das variantes quando todas as opções são permitidas e o problema é escolher subjetivamente a melhor. Nesse caso, a subjetividade refere-se à importância de critérios individuais, pois para cada decisor alguns fatores são tipicamente mais significativos do que outros. Além disso, a incerteza e a imprecisão dos dados que descrevem as alternativas influenciam a subjetividade da avaliação (Roy, 2005). Os métodos MCDA diferem em função natureza e características dos dados utilizados, de modo que a natureza dos dados está intimamente ligada à escala de medição.

Os dados podem ser expressos na escala cardinal (quantitativa) ou ordinal (qualitativa). Além disso, a escala cardinal pode ser do tipo intervalo ou razão (relativa). No caso de uma escala relativa, os dados são apresentados em relação a outros dados. Por exemplo, o peso do critério *A* pode ser expresso em relação ao critério *B*. As características dos dados utilizados referem-se à dados "certos" ou "incertos". Os dados certos, também chamados de determinísticos, são expressos de forma nítida, enquanto os dados incertos, ou não determinísticos, são representados por algum tipo de distribuição contínua ou discreta (Wątróbski et al., 2019).

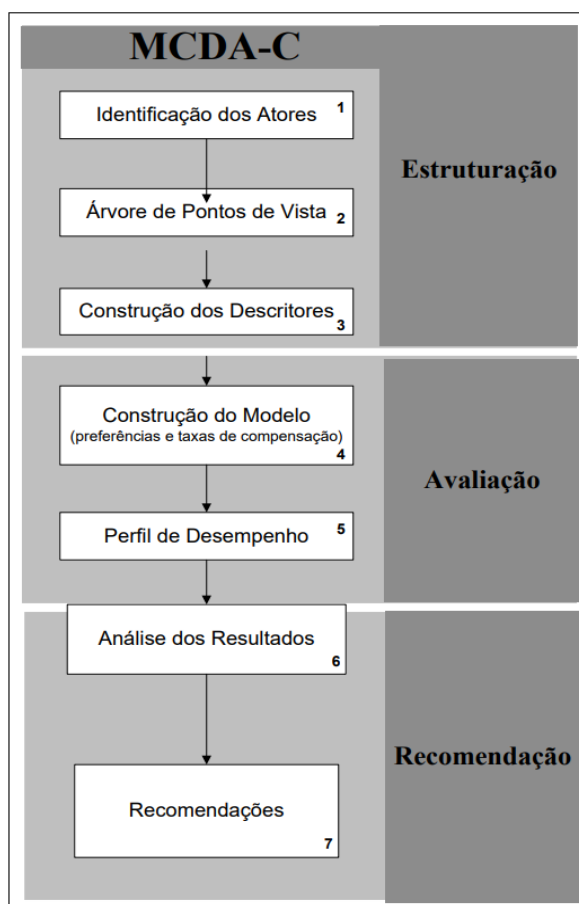
2.6.1 Modelo construtivista multicritério de auxílio à decisão

O *Multicriteria Decision Aid-Constructivist* (MCDA-C) é uma metodologia que apoia a tomada de decisões em situações complexas e incertas, em que vários critérios conflitantes precisam ser considerados. O MCDA-C tem o objetivo de obter e estruturar as preferências dos tomadores de decisão de forma transparente e participativa, permitindo que eles reflitam sobre suas prioridades e compensações (Bana e Costa, 1992). A metodologia baseia-se no paradigma construtivista, que pressupõe que os problemas de decisão não estão relacionados aos dados, mas construídos pelos decisores de acordo com seus valores e julgamentos (Ensslin et al., 2001). O MCDA-C também reconhece que os problemas de decisão são dinâmicos e estão em evolução e, portanto, permite o *feedback* e a revisão do modelo à medida que surgem novas informações ou perspectivas, podendo ser aplicada a vários domínios, como avaliação de desempenho, gestão de capital intelectual, administração pública, saúde, educação e gestão ambiental (Ensslin et al., 2013).

Além disso, os MCDA-C são capaz de lidar com diferentes tipos de informações, incluindo as quantitativas, qualitativas, ordinais, cardinais, determinísticas ou probabilísticas, oferecendo vantagens, tais como fornecer uma estrutura abrangente e transparente para a tomada de decisões; permitir a inclusão de várias perspectivas e partes interessadas, facilitando a comunicação e a negociação entre os tomadores de decisão; auxiliar na identificação dos pontos fortes e fracos de cada alternativa; apoiar o aprendizado e o aprimoramento dos tomadores de decisão. Por outro lado, a metodologia apresenta alguns desafios, tais como como exigir um alto nível de envolvimento e comprometimento dos decisores; sua implementação pode ser demorada e dispendiosa; despertar resistência ou ceticismo de alguns decisores que preferem métodos mais convencionais ou determinísticos; pode ser influenciada por vieses cognitivos ou manipulação de alguns tomadores de decisão;

e pode não garantir uma solução ótima ou única, mas sim um conjunto de soluções satisfatórias ou aceitáveis (Longaray et al., 2019). O MCDA-C envolve três etapas principais: (i) estruturação; (ii) avaliação e (iii) recomendações. Essas fases estão intrinsecamente correlacionadas (ver Fig. 2.7) de modo que para a construção do modelo proposto, utilizamos as etapas propostas por Ensslin et al. (2001).

Fig. 2.7 - Fases do modelo construtivista de auxílio à decisão.



Fonte: Ensslin et al. (2001).

No contexto desta pesquisa, a aplicação do MCDA-C seguiu as seguintes etapas:

- (i) Definição do objetivo e escopo: Foi estabelecido de forma clara o propósito do desenvolvimento de um índice composto para bioeconomia circular urbana. Além disso, foram identificadas as questões-chave e os principais atores envolvidos;
- (ii) Identificação dos critérios relevantes: Por meio de uma revisão da literatura, foram determinados grande parte dos indicadores e critérios relevantes a serem considerados na construção do Índice proposto. Os critérios foram selecionados com base na sua representatividade e na abrangência;

- (iii) Definição dos descritores e escalas de mensuração: Para cada critério (indicador) selecionado, foram definidos os descritores e as escalas de mensuração que serão utilizados no método *Macbeth*. Os descritores descrevem os diferentes níveis de desempenho dos critérios, enquanto as escalas de mensuração fornecem representações numéricas para esses descritores;
- (iv) Coleta da opinião dos participantes e dos decisores (especialistas): Foi conduzida pesquisa das preferências das partes interessadas por meio de painel *Delphi*, composto em sua maioria por acadêmicos nas áreas de engenharia, ciências sociais, ciências biológicas e outras áreas relacionadas ao campo de estudo de práticas circulares. Além disso, foram selecionados partes interessadas da sociedade civil. Para a análise multicritério usando o método *Macbeth*, foram utilizadas exclusivamente as opiniões de especialistas relacionados ao campo de estudo "Bioeconomia no cenário nacional". Esses especialistas ao longo de processo de elicitação foram responsáveis pela definição dos pesos, dos critérios e na avaliação dos descritores em relação às escalas de mensuração. Para isso, utilizou-se o software *M-Macbeth* para obter as preferências dos especialistas de maneira sistemática e transparente;
- (v) Análise dos resultados e cálculo dos limites e limiares: Os resultados obtidos a partir das opiniões dos especialistas foram analisados, incluindo as pontuações de desempenho dos critérios e os pesos atribuídos a cada um deles. O software *M-Macbeth* foi utilizado para calcular os pesos dos critérios, combinando ponderadamente as pontuações de desempenho e levando em consideração os pesos atribuídos;
- (vi) Validação e interpretação dos resultados: Os resultados foram validados por meio de análise crítica e discussão com os decisores. A interpretação do Índice considerou as características do contexto e as limitações do método utilizado;
- (vii) Comunicação dos resultados: Os resultados de desenvolvimento do índice foram comunicados de maneira clara e compreensível aos participantes do painel *Delphi*, especialistas e outras partes interessadas, destacando as principais conclusões e recomendações para apoiar as tomadas de decisão e desenvolvimento de práticas relacionadas à bioeconomia circular urbana nacional.

2.6.2 Modelo *Macbeth*

A abordagem *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Macbeth)*, é um modelo que usa estimativas para determinar os coeficientes de peso, com o objetivo de transformar escalas ordinais em cardinais. Esse processo é

desenvolvido calculando a diferença de atratividade entre duas variáveis, criando assim um modelo de valor quantitativo com base em julgamentos de valor. A atratividade relativa dos critérios é então quantificada e disponibilizada ao decisor ou a um grupo de decisores. Essas distinções devem transmitir qualitativamente o grau de preferência por um nível de impacto em detrimento de outro (Bana e Costa, 1992). Como o conceito do método *Macbeth* é baseado em comparações mútuas de critérios em uma matriz $n \times n$, o método se assemelha metodologicamente a outros métodos MCDA-C. No entanto, além das semelhanças metodológicas iniciais, existem diferenças conceituais significativas. O *Macbeth* utiliza uma escala de intervalo de sete níveis *Neutro; Muito fraco; Fraco; Moderado; Forte; Muito forte; Extremo* e um modelo de programação linear para cálculo dos coeficientes de ponderação, não permitindo a inconsistências na definição dos pesos (Gokasar et al., 2023). Por exemplo, se a alternativa A for considerada mais atraente do que a alternativa B e a diferença de atratividade entre elas for considerada moderada, então o julgamento em pares pode ser expresso como U_3 . Depois de realizar as comparações entre pares, o *Macbeth* verifica se os julgamentos são incompatíveis com uma representação de escala de intervalo por duas condições:

(1) Condição ordinal. Para duas alternativas ou critérios A, B: A é mais atraente do que B $\Leftrightarrow f(A) > f(B)$.

(2) Condição semântica. Para quatro alternativas ou critérios A, B, A', B' com $(A, B) \in U_h$, e $(A', B') \in U_{h'}$: $h > h' \Rightarrow f(A) - f(B) > f(A') - f(B')$.

Em que (A, B) representa a diferença de atratividade entre A e B, e $f(\cdot)$ é uma escala numérica. Os resultados consistentes de comparação e julgamento fornecidos pelos decisores são transformados em uma escala *Macbeth*. Posteriormente, são determinados os pesos dos critérios, que são utilizados para agregar aditivamente as pontuações de valor de cada alternativa.

O objetivo do modelo é estabelecer uma escala numérica para avaliar as ações consideradas, com base em critérios previamente estabelecidos. Além disso, o método evita que os decisores façam estimativas quantitativas de modo que categorias de preferência são utilizadas para expressar as diferenças de atratividade. Ou seja, em um julgamento semântico, a função de valor é obtida por meio de comparações par-a-par da diferença de atratividade entre os níveis de impacto da escala ordinal. De acordo com Bana e Costa &

Pirlot (1997), o facilitador deve promover o pensamento dos decisores durante o processo de estruturação para trazer à tona todo tipo de perspectivas e explicar suas denotações, chegar a uma definição compartilhada de uma árvore de pontos de vista chave e identificar descritores de efeitos para tornar os pontos de vista operacionais. Essa abordagem é estruturada em três etapas. Caracterização do contexto; Construção da árvore de pontos de vista e Construção de descritores.

2.6.2.1 Árvore de ponto de vista

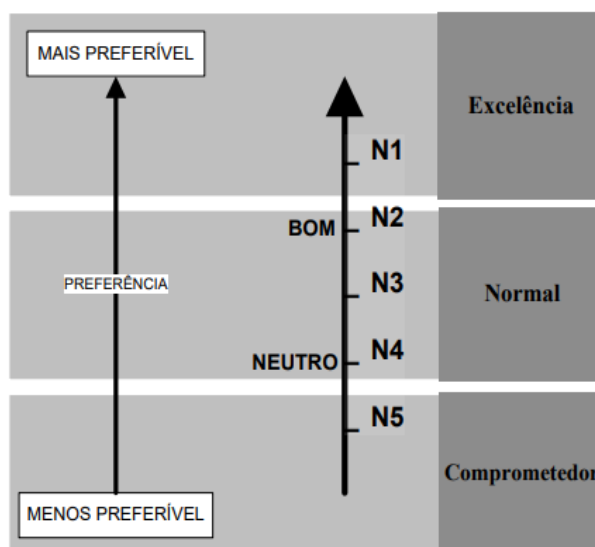
Diversos elementos associados a um tema específico podem ser considerados fundamentais para os envolvidos em um processo de tomada de decisão. Esses componentes da realidade decisória precisam ser convertidos em perspectivas que representem todos os aspectos relevantes para os participantes no desenvolvimento de um modelo de avaliação. No entanto, a mera identificação de uma perspectiva é insuficiente para a construção desse modelo. A fim de ser capaz de avaliar ações potenciais, esses elementos devem ser explicados, operacionalizados e suas relações devem ser detalhadas. Consequentemente, torna-se necessário estabelecer uma distinção entre um Ponto de Vista Fundamental e um Ponto de Vista Elementar (Bana e Costa, 1992). O ponto de vista fundamental refere-se à perspectiva global ou macro da análise multicritério e auxiliam a definir a estrutura hierárquica da análise e a estabelecer a importância relativa dos critérios e dimensões. Os critérios são agrupados em grandes categorias ou dimensões que são consideradas fundamentais para a tomada de decisão. Essas dimensões podem representar objetivos ou preocupações estratégicas mais amplas. Por outro lado, o ponto de vista elementar concentra-se nos detalhes ou nas características específicas de cada critério. Nesse ponto de vista, os critérios são analisados individualmente, considerando suas características, métricas de desempenho e preferências. O ponto de vista elementar ajuda a estabelecer a escala de valores utilizada para comparar as alternativas em relação a cada critério (Bana e Costa & Vansnick, 1994).

2.6.2.2 Descritores

Os descritores são utilizados para estabelecer um padrão de avaliação para cada aspecto relevante identificado na estruturação do problema, conforme expresso nos pontos de vista fundamentais. Essencialmente, são definidas escalas ordinais para permitir a interpretação de cada aspecto dos pontos de vista fundamentais. Uma escala ordinal é um

conjunto de níveis de impacto usados para descrever seu desempenho (ver Fig. 2.8). Por meio do método de apoio à decisão, é possível definir conjuntos de ações que devem ser classificados em ordem de prioridade, de acordo com os objetivos da pesquisa e a perspectiva dos decisores. Após a criação dos descritores, é necessário definir dois níveis de referência de impacto "Bom" e "Neutro" para cada um deles. Essa definição facilita a identificação das ações mais e menos atraentes no processo de apoio à decisão. Aqueles com desempenho acima do nível Neutro são considerados mais atraentes, enquanto aqueles com desempenho abaixo do nível Neutro são menos atraentes. O nível "Bom" indica as ações cujo desempenho supera as expectativas dos decisores.

Fig. 2.8 - Descritor com as ancoragens dos níveis de impacto Bom e Neutro.



Fonte: Ensslin et al. (2001).

2.6.2.3 Fase de avaliação

Uma fronteira entre as fases de estruturação e avaliação não é totalmente óbvia. Existe uma região de transição onde alguns elementos ainda fazem parte da estruturação do problema e outros já podem ser considerados como parte do processo de avaliação. A fase de avaliação envolve a construção de uma função de valor cardinal associada a cada descritor e, em seguida, a determinação dos respectivos coeficientes de ponderação. Assim, o processo de avaliação inicia-se com a identificação de escalas de valor cardinais sobre cada um dos descritores construídos anteriormente (Bana e Costa et al., 2002). Com o propósito de auxiliar os participantes a fornecerem informações cardinais sobre a atratividade dos elementos de um conjunto finito X , o método *Macbeth* consiste em orientar os decisores a

refinar progressivamente seus julgamentos por meio de um processo iterativo de reflexão e aprendizagem.

De acordo com Bana e Costa et al. (2003), embora os especialistas acreditem ter compreendido o conceito de diferenças de atratividade, é incomum observá-los refletindo profundamente. Portanto, se desejamos obter informações precisas que reflitam exatamente o pensamento do especialista, é importante realizar uma preparação prévia antes de solicitar informações cardinais. Isso implica a criação de etapas intermediárias entre as informações ordinais e as informações cardinais. Nesse sentido, Bana e Costa & Cfansnick (1995) propõem a construção de matrizes para facilitar a expressão de juízos de valor. Para que uma matriz de julgamento seja considerada consistente, é necessário que seja possível deduzir dela pontuações iguais para elementos igualmente atrativos, que uma opção que seja mais atrativa que a outra obtenha uma pontuação mais alta, e que a diferença de atratividade entre duas opções seja maior que a diferença de atratividade entre duas outras opções. Após fazer julgamentos de diferença de atratividade para cada critério, é necessário obter informações de natureza intercritério, que podem ser representadas por pesos. A determinação é feita com base em sua importância relativa.

Estes dados são importantes para que seja possível construir uma regra de agregação aditiva para o modelo. As constantes de escala são necessárias para que as informações cardinais obtidas para cada critério correspondam à sua importância relativa. O processo de determinação das informações de preferência intercritério consiste em duas etapas principais. Ao construir as escalas de valor cardinal para os níveis de impacto de cada ponto de vista fundamental, o *ranking* descendente de atratividade dos pontos de vista fundamentais e a construção de uma matriz de julgamento de valor baseada em julgamentos absolutos de diferença de atratividade. Quando informações ordinais são obtidas, o questionamento do *Macbeth* permite a entrada no âmbito cardinal. Para obter informações sobre o conceito de diferença de atratividade, começamos fazendo perguntas ao tomador de decisão cuja formulação utiliza apenas dois elementos. Em suma, os tomadores de decisão são questionados da seguinte forma: "*A diferença de atratividade entre os níveis N_i e N_j é considerado 'nulo,' muito fraco,' 'fraco,' moderado,' forte,' muito forte,' ou 'extremo?*" Uma vez conhecido o desempenho local, são desenvolvidas recomendações de ação específicas para corrigir os pontos fracos e capitalizar os pontos fortes de cada critério, com o objetivo de melhorar o desempenho geral. Para preservar a objetividade da pesquisa, não irei detalhar

a modelagem matemática do modelo *Macbeth* por estar fora do escopo de pesquisa de pesquisa. Tal detalhamento pode ser mais bem compreendido em Bana e Costa et al. (2016).

2.6.3 Software M-Macbeth

O *software M-Macbeth* tem sido amplamente utilizado em diversas áreas de tomada de decisão e reconhecido como uma valiosa ferramenta para apoiar processos complexos (Ishizaka & Siraj, 2018). O *software* oferece uma interface interativa que permite construir uma escala cardinal para um conjunto de ações, tornando possível lidar com problemas complexos de decisão que envolvem múltiplas partes interessadas e objetivos conflitantes. Ele utiliza uma técnica de modelagem matemática baseada em quatro tipos de programação linear. A primeira programação tem como objetivo analisar a consistência cardinal das avaliações de diferença de atratividade. A segunda programação sugere e constrói a escala numérica, calcula as diferenças de atratividade, gera a escala final e realiza testes de sensibilidade e robustez. Além disso, o *software* permite a interação com o facilitador ou analista para discutir os resultados da avaliação e produzir relatórios e gráficos. As programações três e quatro têm a função de identificar e revelar fontes de inconsistência, permitindo a validação ou alteração dos dados, aceitando ou rejeitando os julgamentos (Feitosa & Costa, 2021). Os analistas podem proporcionar aos tomadores de decisão em nível local uma compreensão mais abrangente *dos trade-offs* envolvidos na tomada de decisão. O *software* auxilia na estruturação do problema de decisão, capturando e organizando julgamentos qualitativos, fornecendo uma estrutura sistemática para avaliar e comparar alternativas.

3. BIOECONOMIA CIRCULAR – UMA REVISÃO LONGITUDINAL

A intensificação da escassez do capital natural somado a pressão para o crescimento econômico, coloca o desenvolvimento de uma economia de base biológica no centro das discussões a respeito do desenvolvimento sustentável (Fritsche et al., 2020). A Bioeconomia é proposta como uma solução para reduzir a dependência de recursos fósseis. O uso sustentável e a preservação do capital natural crítico como parte de uma Bioeconomia, supostamente poderiam ser promovidos reconhecendo os limites biofísicos e seguindo os princípios de circularidade. No entanto, a implementação de práticas circulares para abordar questões complexas e interconectadas demanda um equilíbrio entre a busca pela competitividade, central nas estratégias e a promoção da colaboração. Tanto as narrativas da Bioeconomia quanto da Economia Circular permanecem altamente técnico e abstrato, distante da realidade cotidiana do cidadão comum. A distância entre o conceito e a vida diária, juntamente com os impactos que muitas vezes são percebidos como distantes, a desconexão entre estilos de vida diversos e a possível demora ou ausência de gratificação ao adotar medidas tornam a questão desafiadora quando se trata de envolver a sociedade. Isso também complica o processo de comunicação, que deve distinguir claramente os principais atores, como decisores políticos, especialistas, acadêmicos, agricultores e cidadãos, adaptando as estratégias e os meios de comunicação de acordo com as necessidades de cada grupo (Giurca, 2022). Iniciar essa transição requer uma compreensão transdisciplinar das questões envolvidas e gerenciar essa transição significa estabelecer um processo que facilite redes colaborativas e interdependentes entre diversos atores e partes interessadas, enquanto permite a competição por meio das melhores ideias e abordagens. Nesse sentido, diversos princípios inter-relacionados como fechamento e desaceleração de ciclos, ecodesign, simbiose industrial, análise do ciclo de vida e economia de desempenho têm contribuído em estratégias de desacelerar os ciclos produtivos (Blomsma, 2018).

Desde seu surgimento, as narrativas da Economia Circular e Bioeconomia adquiriram apoio separado na política e na literatura científica. No entanto, acompanham alguns objetivos comuns, tais como eficiência de recursos e uma pegada mínima de CO₂ a fim de promover objetivos climáticos (Carus & Dammer, 2018). Apesar dessa correlação, há uma discussão contínua a respeito de supostos benefícios de se estender os princípios da Economia Circular à Bioeconomia. A Bioeconomia é caracterizada por sua dependência na prestação de serviços, principalmente pelo uso da biomassa, mas também recursos genéticos

e serviços ecossistêmicos baseados em informações, como biossegurança, bioprospecção e serviços culturais apoiados pelo progresso científico. Seus princípios geralmente descrevem o desenvolvimento de uma economia que depende de recursos biológicos, produtos, serviços e processos para substituir direta ou indiretamente os combustíveis fósseis (D'Amato et al., 2020). Seu escopo inclui setores e sistemas econômicos ligados aos recursos biológicos, tais como funções, princípios e serviços, tornando-se parte essencial de uma economia (Kardung et al., 2021). Na agricultura, a biotecnologia tem o potencial de favorecer a saúde do solo e garantir a produção de alimentos e práticas agrícolas de precisão possibilitam maximizar a produção e minimizar o uso de insumos, aumentar a eficiência da produção e priorizar a conservação ecológica e cultural (D'Amato, Veijonaho, et al., 2020; La Notte et al., 2017). A geração de bioenergia a partir de fontes renováveis, tais como biomassa são alternativas ao uso de combustíveis fósseis; o desenvolvimento de bioprodutos e materiais renováveis como bioplásticos e químicos derivados de microrganismos, têm o potencial de substituir alguns dos compostos derivados do petróleo e, por meio de técnicas avançadas, seria capaz de produzir medicamentos e enzimas (Boyd et al., 2020; Gogoi et al., 2020; Venkatramanan et al., 2020).

As origens da Economia Circular por outro lado, podem ser traçadas desde o repensar dos processos industriais que caracterizaram os campos da Ecologia Industrial (Frosch & Gallopoulos, 1989). Embora os princípios de circularidade tenham sido inicialmente popularizados há algumas décadas, a narrativa só atraiu atenção significativa nos últimos anos devido aos impactos adversos das atividades antrópicas a partir um modelo econômico linear predominante (Velenturf & Purnell, 2021). A literatura científica têm examinado as consequências e facilitadores da Economia Circular em relação à maturidade do design de produtos (Aguiar & Jugend, 2022); cadeias de abastecimento (Calzolari et al., 2022); eficiência dos modelos de negócios (Diaz Lopez et al., 2019); sistemas produto-serviço (Fernandes et al., 2020) e serviços ecológicos (Kapsalis et al., 2019).

No entanto, a extensão dos princípios da Economia Circular à Bioeconomia como um meio de conciliar as pressões dos sistemas de produção sobre os ecossistemas de suporte para superar as práticas insustentáveis, pode ser visto de duas maneiras contrastantes. Por um lado, pode ser considerada como uma solução favorável por combinar um *"o quê"* desejável da Economia Circular com um *"como"* da Bioeconomia. Apesar da biomassa ser um recurso renovável, ele não é ilimitado e sua extração e conversão podem ter impactos

socioeconômicos significativos (D'Amato et al., 2020). A reutilização de subprodutos, a reciclagem de nutrientes e a recuperação energética, pode ajudar a otimizar o uso da biomassa e minimizar esses impactos. Sob essa perspectiva, a Economia Circular é considerada o resultado a ser alcançado pela dissociação do uso de recursos dos recursos naturais e a Bioeconomia como o método para alcançá-lo por meio do uso de recursos e processos biológicos. Por outro lado, essa combinação pode ser vista como um oxímoro, sugerindo que a união desses dois elementos não resultará no efeito esperado. Sob essa perspectiva, a Economia Circular e a Bioeconomia são enxergados como conceitos incompatíveis, pois os princípios da circularidade implicam em uma redução dos fluxos de materiais e uma maximização da eficiência dos recursos enquanto a visão adotada pela Bioeconomia no cenário atual implica um aumento da produção, do consumo de biomassa e da dependência da biodegradação (Giampietro, 2019). Embora as estratégias e políticas globais para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular tenham defendido a primeira interpretação, o reconhecimento dos limites biofísicos é precedido pela veemente certeza de que esse desenvolvimento econômico é viável (Patermann & Aguilar, 2018). Essa interpretação revela uma tensão entre a aspiração de uma Bioeconomia Circular como uma solução econômica e a necessidade de considerar cuidadosamente seus limites biofísicos.

Embora Venkatesh & Se (2021) tenham conduzido uma revisão sistemática abrangendo a distribuição de tipologias de publicações relevantes com foco em campos críticos de estudo, até o momento, não foram conduzidas pesquisas que investigassem a relação entre os conceitos de "Economia Circular" e "Bioeconomia" utilizando uma abordagem multimétodo. Nesse sentido, esse capítulo situa a literatura sobre Bioeconomia Circular em um cenário científico amplo, examinando o *status* e a evolução da narrativa ao buscar padrões para seu desenvolvimento. A pesquisa difere de pesquisas anteriores tanto em termos de escopo quanto aos métodos utilizados. De forma coerente, com o objetivo de abordar a lacuna de pesquisa identificada, as questões que norteiam essa revisão são as seguintes: *Quais linhas de pesquisa, conceitos e tópicos relevantes para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular a partir de uma perspectiva longitudinal? Quais trabalhos definem o debate sobre o desenvolvimento da narrativa?*

3.1 Visão geral e delimitação de revisões anteriores

À medida que avançamos da análise teórica para as iniciativas efetivas reais, fica evidente a importância de que a Bioeconomia abrace a ideia de circularidade como elemento

central. Uma transição para uma Bioeconomia Circular pode ser interpretada de várias maneiras, incluindo a redescoberta do uso de fontes de biomassa, o estímulo à coordenação de múltiplas inovações baseadas em organismos vivos e o estabelecimento de um novo setor econômico estratégico. Entretanto, essa transição representa principalmente uma convocação para mudanças amplas nos estilos de vida e nos padrões de consumo (Allain et al., 2022). Embora os conceitos de Bioeconomia e Economia Circular, separadamente, tenham sido amplamente explorados, especialmente à nível teórico, ambas as narrativas permanecem ambíguas e contestadas.

A literatura evidencia uma escassez de pesquisas abrangentes sobre a criação de valores socioecológicos de uma Bioeconomia Circular e o envolvimento dos principais atores e partes interessadas (D'Adamo et al., 2020; D'Amato & Korhonen, 2021; Giampietro, 2019). Nesse sentido, a revisão longitudinal proposta, abrange todo o período da pesquisa e a intersecção entre Economia Circular e Bioeconomia. A abordagem de métodos quantitativos fornece uma visão das interseções entre Economia Circular e Bioeconomia a partir de uma perspectiva longitudinal. À luz do crescimento exponencial da pesquisa focada na intersecção entre os dois conceitos, os *insights* obtidos tornam-se relevantes para posicionar a pesquisa Bioeconomia Circular no debate geral sobre desenvolvimento sustentável e identificar potenciais deficiências e "pontos cegos" na literatura emergente, levantando a possibilidade de orientar pesquisas futuras.

3.2 Método

O uso de informações bibliométricas para construir mapas que evidenciem a evolução de um tópico de pesquisa científica ao longo do tempo é um método amplamente utilizado (Agudo et al., 2022; Sharifi et al., 2021). Para garantir rigor, imparcialidade e transparência no processo de desenvolvimento e gerar resultados replicáveis, foi utilizada uma abordagem quantitativa de análise de acordo com os padrões estabelecidos por Schöggel et al. (2020) que será detalhado a seguir.

3.2.1 Amostragem e coleta de dados

Como critério de inclusão, foi estabelecido que a *string* de busca se limitaria a artigos científicos em língua inglesa de periódicos científicos revisado por pares. Com critério de exclusão, artigos provenientes de conferências e capítulos de livros foram abolidos do escopo

da pesquisa. Os documentos foram selecionados utilizando as *strings* de busca nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Após remover as duplicatas, um total de 531 artigos foram selecionado para a amostragem final. O estudo concentra-se exclusivamente na interseção entre Economia Circular e Bioeconomia, excluindo intencionalmente quaisquer cadeias de pesquisa auxiliares ou independentes. Tal exclusão foi realizada levando em consideração que abordagens e conceitos mais generalizados podem apresentar contradições em alguns aspectos. Dessa forma, não utilizar palavras-chave genéricas como "sustentabilidade" por exemplo, evitou o acréscimo de informações inconsistentes e ruídos para o conjunto de dados (Kravchenko et al., 2019). A pesquisa em ambas as bases de dados foram conduzidas em janeiro de 2023.

Antes da realização das análises dos dados, foram combinados sinónimos e eliminadas as palavras-chave sem um significado útil para o conjunto de dados, que por sua vez, foram "limpos" e ajustados. Esse procedimento foi realizado tanto para palavras-chave do autor quanto para do editor e do banco de dados fornecidas a um artigo. As "*keywords plus*" consistem em um conjunto de palavras-chave que são adicionadas aos documentos pelos editores das bases de dados, com o objetivo de melhorar a precisão e a abrangência da busca de informações com base em seu uso frequente nos artigos e em sua relevância para a área de estudo em questão. Isso significa que, ao usar as *Keyword Plus* na busca, é possível encontrar artigos relevantes que não foram encontrados por meio de palavras-chave convencionais. O conjunto de dados ($n = 531$) forneceu entrada para (i) estabelecer o fator de impacto dos artigos; (ii) mapeamento temático; (iii) análise de correspondência múltipla e clusterização de *k-means*, e (iv) ajuste de um modelo de tópicos correlacionados. Para as análises de rede e estatísticas, utilizamos o *software Rstudio* versão 4.2.1. Os dados reprodutíveis estão disponíveis no apêndice A.

3.3 Literatura Central e fluxos de pesquisa

A importância de um artigo científico para a evolução um campo de estudo é frequentemente avaliada por meio do número de citações. Essa avaliação se baseia na premissa de que estudos subsequentes nesse campo citarão o documento se, e somente se, os autores o considerarem relevante. Nesse sentido, as análises de citação e cocitação são indicadores bibliométricos fornecem dados objetivos para compreender a estrutura intelectual de um domínio de conhecimento, além de oferecer um conjunto de dados significativo para avaliar o impacto e a relevância de um documento (Kumpulainen &

Seppänen, 2022). É comum que o número de citações recebidas por um artigo diminua ao longo dos anos após sua publicação, pois as referências utilizadas para criar um novo artigo frequentemente citam pesquisas mais recentes. Por outro lado, os artigos publicados a mais tempos comparados simplesmente pelo fator "citações totais" levam vantagem (Pan & Fortunato, 2014). Visando superar essas limitações, a presente análise considera o impacto do periódico ao contabilizar a citação geral ou a citação média anual, conforme demonstrado na "Equação 1", que calcula o fator de impacto do artigo de acordo com estipulado por Carvalho et al. (2013). A utilização do Fator de impacto do artigo (AIF) produz um resultado com menor sensibilidade e permite definir as principais pesquisas para o campo de estudo, tanto pela citação anual quanto pela relevância do periódico. Vale ressaltar que o índice de impacto do artigo pode alterar a posição de um artigo no ranking de citações.

$$\text{Fator de impacto do artigo} = \text{Citação média anual} * (1 + JCRIFano) \quad (1)$$

Tab. 3.1 - Lista dos 10 artigos mais citados, média anual, normalização e Fator de impacto do artigo.

Título do artigo	Journal	Citações totais	Média anual	CTN	JCR/IF^a	AIF
<i>Biorefineries in circular bioeconomy: a comprehensive review</i>	<i>Bioresource Technology</i>	259	64.75	7.79	11.889	834.562
<i>The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters</i>	<i>Resources, Conservation And Recycling</i>	212	53.00	6.38	12.675	724.775
<i>Green, circular, bio economy: a comparative analysis of sustainability avenues</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	413	59.00	5.42	11.072	712.248
<i>Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics</i>	<i>Trends in Biotechnology</i>	119	29.75	3.58	21.94	682.465
<i>Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives</i>	<i>Bioresource Technology</i>	420	52.50	3.31	11.889	667.672
<i>The significance of biomass in a circular economy</i>	<i>Bioresource Technology</i>	122	30.50	3.67	11.889	393.114
<i>A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization</i>	<i>Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry</i>	141	20.14	1.85	8.843	198.238
<i>Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses</i>	<i>Global Ecology and Conservation</i>	132	33.00	3.97	3.969	163.997

<i>Hydrolysis of Hemicellulose and Derivatives—A Review of Recent Advances in the Production of Furfural</i>	<i>Frontiers in chemistry</i>	128	21.33	3.36	5.545	139.604
<i>A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review</i>	<i>Agronomy for Sustainable Development</i>	133	19.00	1.75	5.832	129.888

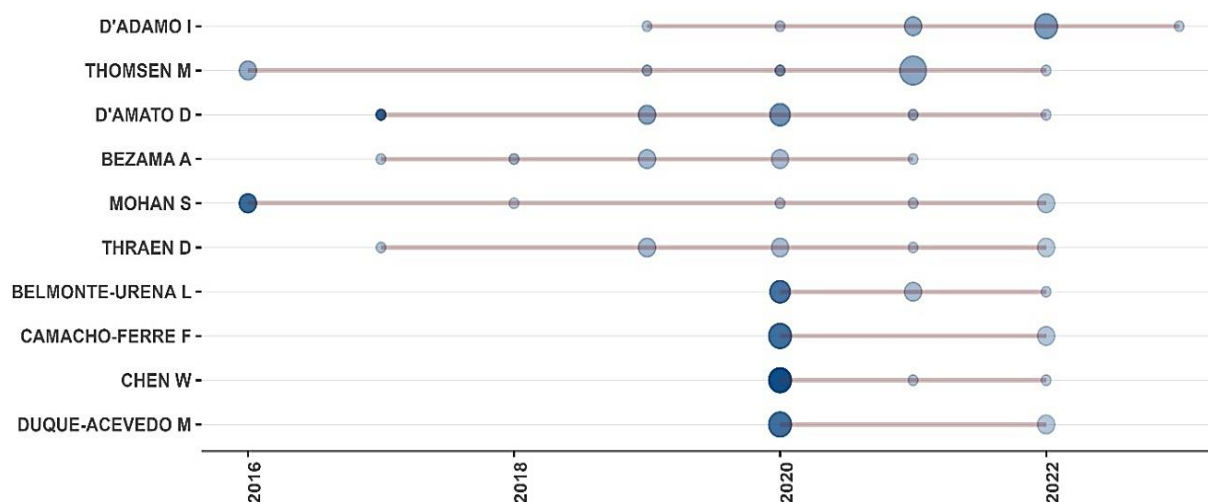
CTN = Citações totais normalizadas, calculada dividindo a contagem real de itens de citação pela taxa de citação esperada para documentos com o mesmo ano de publicação. Nota: Artigos em ordem decrescente do fator de impacto do artigo (AIF). ^a JCRIF (2022). O JCRIF é o fator de impacto do periódico é calculado para itens publicados no periódico nos dois anos anteriores.

3.4 Análise bibliométrica

Para a análise de publicação referente a informações quanto aos autores, foram consideradas duas variáveis para a análise. Os principais autores quanto ao número de publicações ao longo do tempo, permite identificar aqueles que têm contribuído consistentemente para a produção científica. Isso revela a continuidade e o impacto da pesquisa realizada, bem como as áreas do conhecimento mais fortemente representadas pelos principais autores. A segunda variável diz respeito ao número de publicações pelo autor dentro de um período específico de tempo. A identificação dos autores mais relevantes com base no número de publicações revela aqueles que têm sido particularmente produtivos em sua pesquisa. Esses autores demonstram um comprometimento significativo com a pesquisa e podem ser reconhecidos como especialistas em suas áreas, aumentando a visibilidade e o prestígio da instituição.

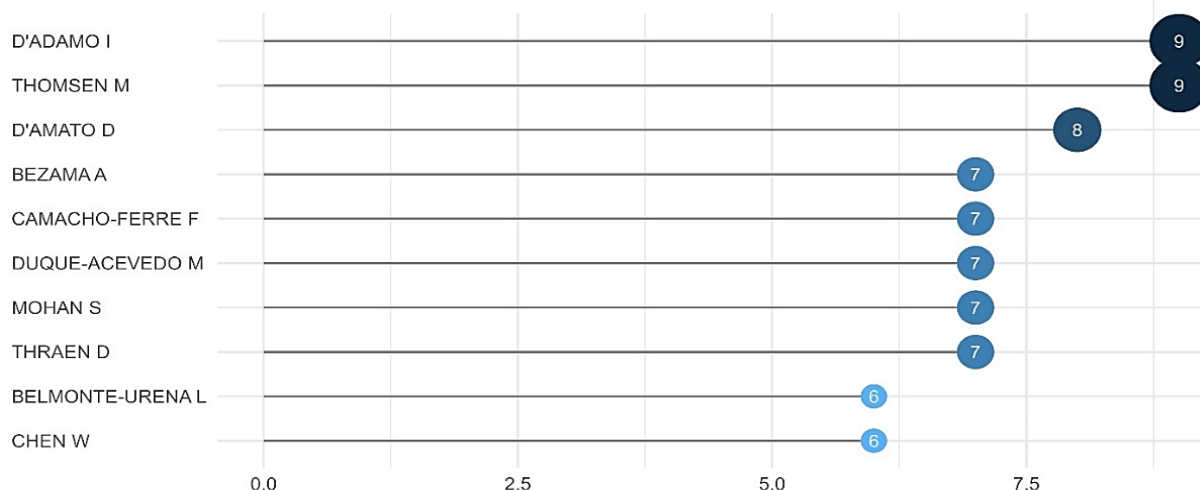
Ambas as variáveis são importantes para avaliar a qualidade e a produtividade da pesquisa de uma instituição de ensino superior. No entanto, é fundamental considerar que a qualidade da pesquisa não deve ser avaliada exclusivamente com base no número de publicações. Fatores como o impacto das publicações, a relevância dos resultados e a colaboração com outros pesquisadores e instituições também são relevantes para uma avaliação completa da produção científica da instituição. Com base nos dados obtidos, a Fig. 3.1 apresenta os 10 autores de maior destaque em relação às publicações ao longo do tempo, permitindo uma análise mais minuciosa das trajetórias desses autores na área de estudo em questão. A Fig. 3.2, por sua vez, ilustra os 10 principais autores em termos do número total de publicações.

Fig. 3.1 - Principais autores com relação a publicações ao longo do tempo.



* O volume das esferas é proporcional à frequência cumulativa do número de publicações e cocitações.* O volume das esferas é proporcional à frequência cumulativa do número de publicações e cocitações.

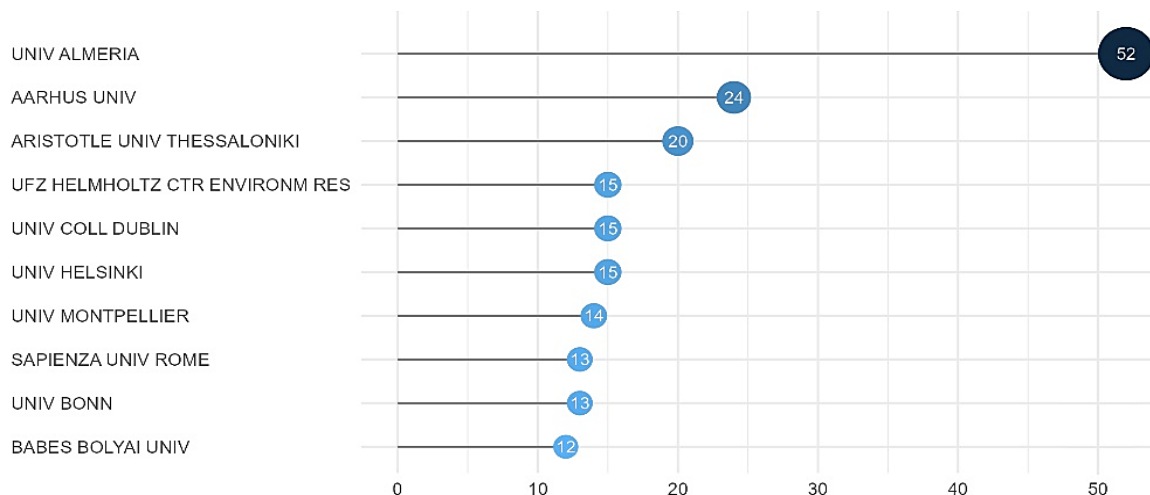
Fig. 3.2 - Autores mais relevantes de acordo com o número de publicações.



Uma terceira variável, diz respeito ao número de publicações de instituições de ensino superior, sendo de grande relevância para a avaliação e reconhecimento da qualidade da pesquisa e produção científica. Essa métrica é frequentemente utilizada como indicador de desempenho acadêmico e científico, tanto a nível nacional quanto internacional. A Fig. 3.3 apresenta as 10 principais instituições de estudo classificadas de acordo com o número de artigos científicos produzidos. Essa classificação ressalta o destaque dessas instituições na pesquisa e evidencia o papel importante que desempenham no avanço do conhecimento nessa área específica. A relação à produtividade, as universidades de Almeria, na Espanha, Aarhus, na Dinamarca, e Aristóteles de Thessaloniki, na Grécia, têm se destacado como líderes no desenvolvimento da Bioeconomia Circular. Essas instituições demonstram ser extremamente

relevantes para o desenvolvimento do campo, o que indica a alta qualidade do trabalho acadêmico realizado nessas instituições.

Fig. 3.3 - Universidades mais relevantes de acordo com o número de publicações.



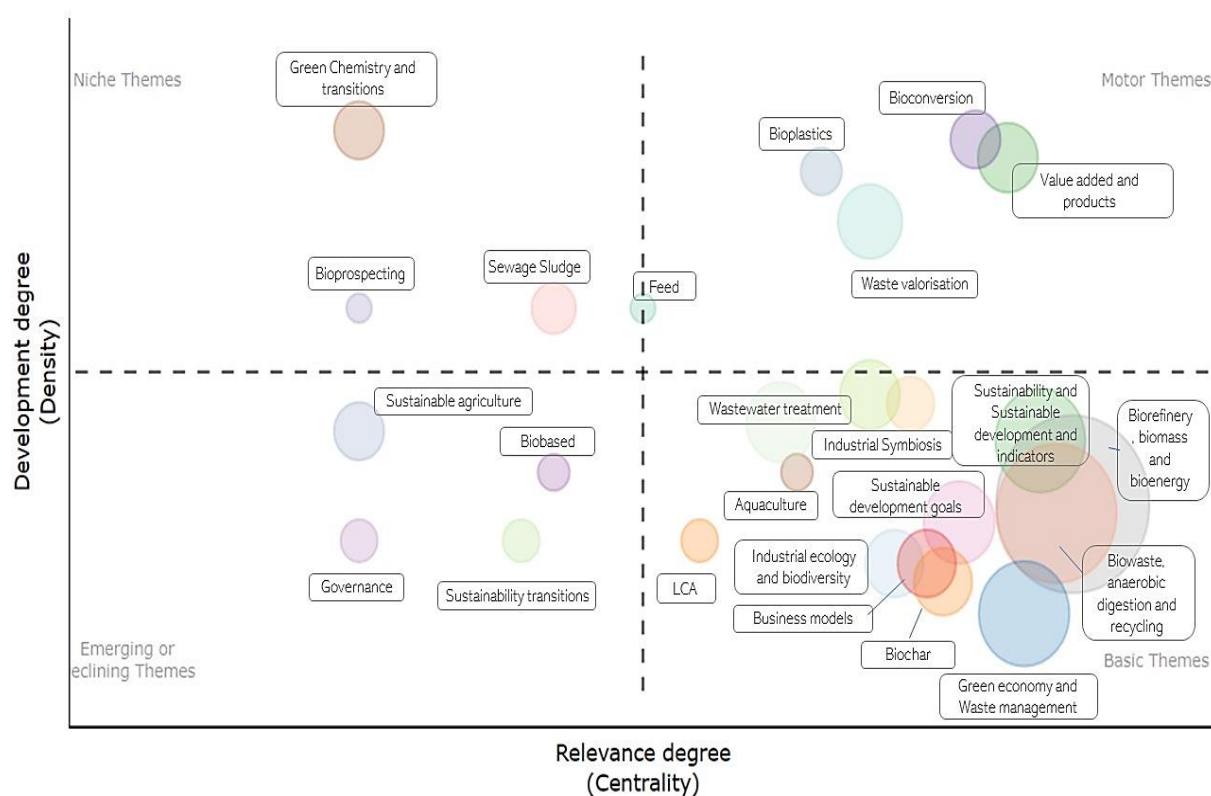
Além das universidades listadas, destaca-se a Universidade Nacional da Colômbia, (12 publicações) e as Universidades Estadual de São Paulo e Federal de Pernambuco (ambas com 9 publicações). Isso demonstra que a pesquisa acadêmica na América Latina tem avançado e contribuído de maneira significativa para o desenvolvimento do conhecimento nesse campo de estudo. É importante ressaltar o papel fundamental que essas universidades desempenham na produção de conhecimento científico de alta qualidade, não apenas em nível regional, mas também no âmbito global. A presença das universidades latino-americanas entre as principais do mundo em termos de produção de artigos científicos de impacto é um indicador do potencial promissor de desenvolvimento da narrativa.

3.4.1 Mapa temático

A utilização de mapas temáticos é particularmente relevante em áreas acadêmicas como geografia, sociologia, antropologia e biologia, pois essas disciplinas frequentemente se baseiam em dados complexos e abrangentes. Nesse contexto, a pesquisa considera também a extensão da utilização dos mapas temáticos para as ciências da sustentabilidade. As representações visuais sintetizam e apresentam de forma integrada as informações coletadas, permitindo uma análise mais abrangente e uma compreensão mais clara das interconexões entre os diferentes elementos da pesquisa. Além de oferecer uma visão geral da literatura existente, os mapas temáticos podem ser utilizados para orientar pesquisas futuras, identificar lacunas no conhecimento e acompanhar a evolução de uma área

específica ao longo do tempo (Cobo et al., 2011). Para realizar o mapeamento temático, a pesquisa utiliza todo o conjunto de dados disponível, ou seja, os 531 artigos incluídos na amostra publicados entre os anos de 2015 e 2023, conforme ilustrado na Fig. 3.4. A fim de identificar os clusters temáticos, empregamos o pacote *Bibliometrix* do *Rstudio*, que utiliza o algoritmo estatístico de análise de coocorrência. Esse algoritmo permite identificar as relações entre os termos-chave e tópicos presentes nos artigos. A rede resultante de termos e tópicos foi visualizada como um mapa temático, no qual diferentes tópicos estão interligados e apresentados de forma gráfica. Para garantir uma classificação precisa e adequada dos diferentes temas abordados, os rótulos foram definidos manualmente.

Fig. 3.4 - Mapa temático da pesquisa entre 2015 e 2023.



As esferas na ilustração possuem volumes proporcionais à frequência cumulativa das palavras-chave utilizadas pelos autores nos artigos. A visualização por meio de mapa temático permitiu identificar padrões e relações entre os diversos temas e subtemas abordados na literatura científica sobre a Bioeconomia Circular. Essa análise é de suma importância para a compreensão e o avanço da área, pois proporciona uma visão geral sobre o campo de estudo, destacando os principais temas e como eles se relacionam entre si. O mapeamento temático realizado com base no conjunto de dados disponível nos proporcionou

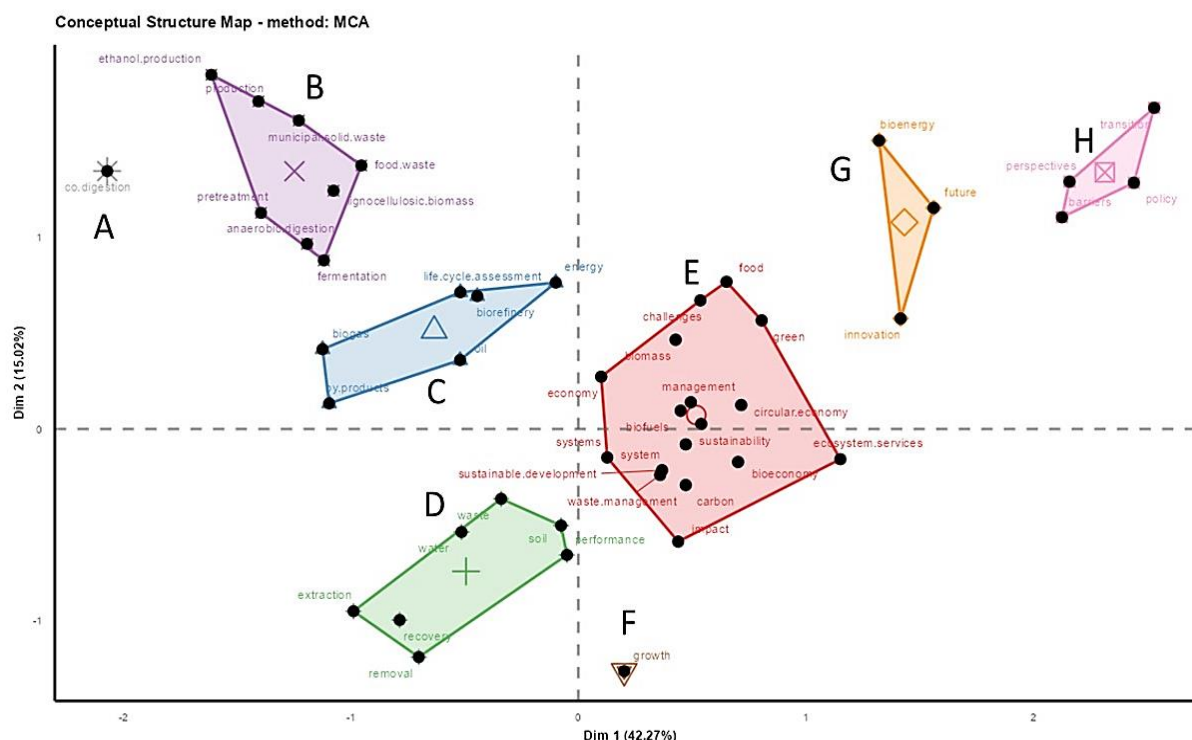
uma visão abrangente, identificando os principais tópicos abordados na literatura científica e fornecendo *insights* sobre suas interconexões.

A partir da análise dos dados, os resultados apontam que alguns temas se destacam como os principais impulsionadores para o campo de estudo. Entre eles, a "valorização de resíduos" e a busca por "valor adicional e produtos" apresentam uma forte relação com o tema "bioconversão". Esses temas estão diretamente relacionados à capacidade de recuperar os biorresíduos e transformá-los em produtos, uma das premissas centrais da narrativa. Além disso, os temas básicos mais discutidos na literatura científica são "biorrefinaria, biomassa e bioenergia", seguidos por "biorresíduos, digestão anaeróbica e reciclagem". Esses temas essenciais fornecem a base da narrativa, abrangendo processos de conversão da biomassa em energia e produtos, bem como a gestão e recuperação dos biorresíduos. Além dos temas estabelecidos, foram identificados temas emergentes e em declínio na literatura científica. Entre os temas emergentes, destaca-se o tema "governança", que reflete a crescente necessidade de abordar questões de coordenação, regulação e colaboração entre diferentes atores e partes interessadas. Esse tema indica a importância de uma abordagem abrangente e integrada para garantir o desenvolvimento sustentável da Bioeconomia Circular.

3.4.2 Mapa conceitual e gráfico de linhas

Os resultados obtidos foram interpretados com base nas posições relativas dos pontos e sua distribuição nas duas dimensões do sistema de coordenadas. Observou-se que as palavras-chave com distribuição semelhante nas publicações estão mais próximas entre si. Quanto mais próxima uma palavra-chave estiver da origem do sistema de coordenadas, mais próxima estará do perfil médio da amostra. A Fig. 3.5 ilustra a estrutura conceitual da pesquisa sobre Bioeconomia Circular, obtida por meio da abordagem de agrupamento utilizando o *k-means*. Antes de realizar o agrupamento *k-means*, os dados foram pré-processados por meio da Análise de Correspondência Múltipla, em que as duas primeiras dimensões explicaram 57,29% da variância total (Dim. 1 = 42,27%, Dim. 2 = 15,02%), considerando autovalores ajustados. É importante ressaltar que os gráficos bidimensionais apresentados representam escolhas possíveis, levando em conta sua compreensibilidade. Ou seja, dada a sua compreensibilidade, os gráficos bidimensionais representam possíveis escolhas (Greenacre, 2017).

Fig. 3. 5 - Estrutura Conceitual de pesquisa para uma Bioeconomia Circular de 2015 a 2023.



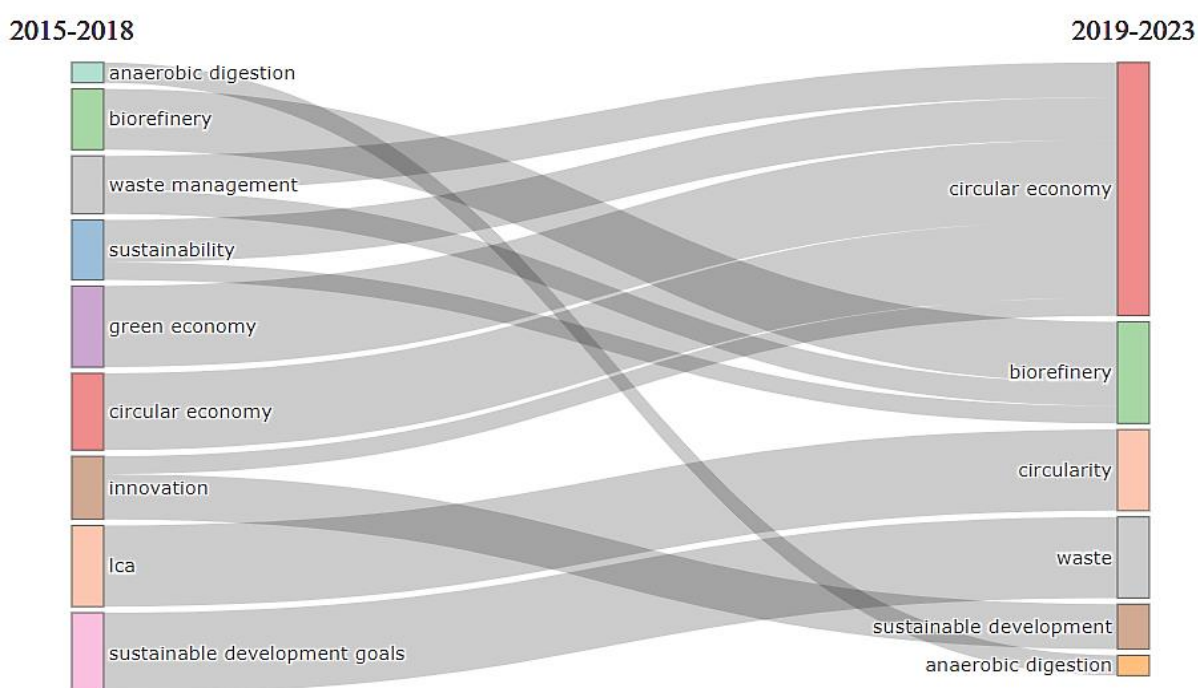
A distribuição dos *clusters* ao longo das duas dimensões do sistema de coordenadas sugere uma distinção na pesquisa. Essa distinção varia desde a recuperação na posição mais polar (cluster A), que aborda o tema "co-digestão anaeróbica", até um foco relacionado a perspectivas, barreiras, transições e políticas na extremidade oposta do eixo (cluster H). A distribuição dos agrupamentos ao longo do eixo x (Dimensão 1) indica uma distinção entre as pesquisas relacionadas à Bioeconomia Circular. Por outro lado, a distribuição dos agrupamentos ao longo do eixo y (Dimensão 2) sugere uma segunda divisão no campo da pesquisa, com uma orientação para o desenvolvimento de práticas e tecnologias (clusters B e C), e outra no centro do diagrama (cluster E) voltada para a gestão entre sistema, sustentabilidade, serviços ecossistêmicos e gestão de biorresíduos. Enquanto crescimento e inovação para o futuro encontram-se nos clusters F e cluster G respectivamente. A estrutura conceitual da pesquisa reforça os achados descritos anteriormente e acrescenta uma perspectiva adicional.

O mapa de evolução temática, representado na Fig. 3.6, descreve a interrelação e o desenvolvimento das palavras-chave ao longo do tempo em pesquisas. Esse mapa foi elaborado considerando duas fases distintas: 2015 a 2018 e 2019 a 2023. Entre 2015 e 2018, o mapa revelou que a pesquisa estava em estágios iniciais, com uma dispersão entre diversos temas isolados. Nesse período, os avanços na narrativa foram observados, mas ainda não

havia uma integração clara entre os termos investigados. Porém, mais recentemente, de 2019 a 2023, houve uma maior integração dos termos no mapa temático. Especificamente, o conceito de "Economia Circular" emergiu como um tema central, abrangendo diversos tópicos que anteriormente eram estudados de forma isolada, como "gestão de resíduos", "sustentabilidade" e "economia verde". Essa integração reflete um avanço significativo na compreensão e abordagem dos problemas investigados.

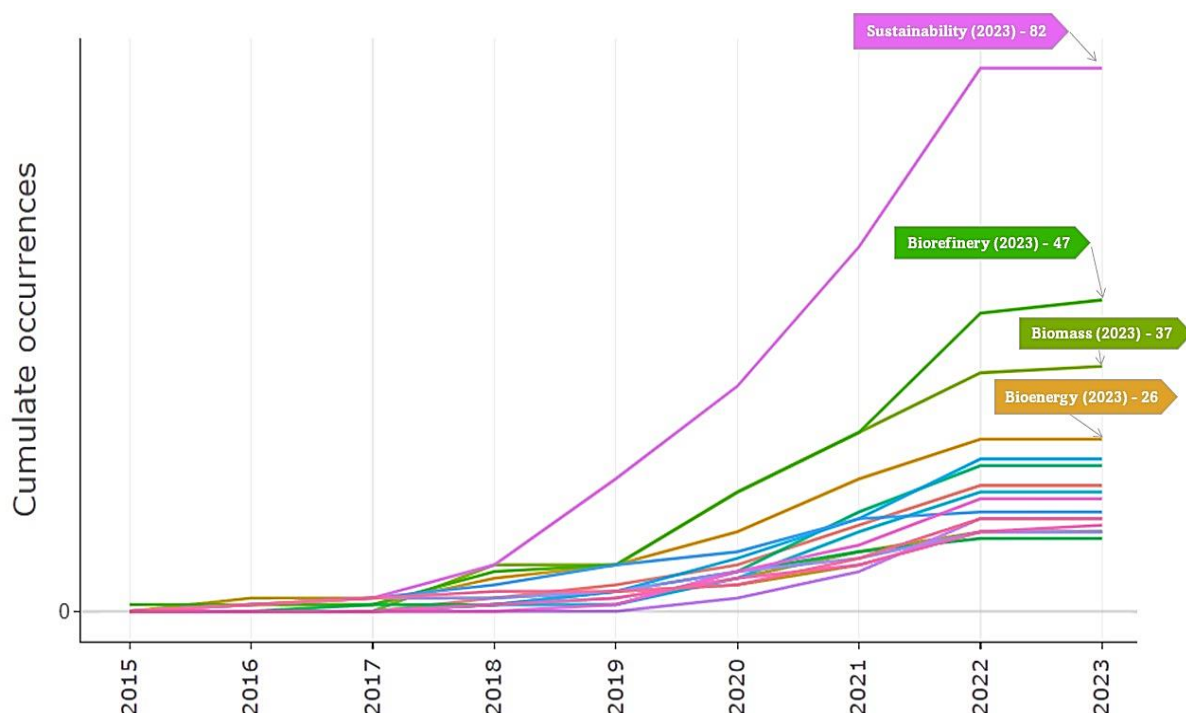
Além disso, os temas "biorrefinaria" e "resíduos" têm recebido destaque no campo de estudo, evidenciando um aumento na atenção e interesse por esses assuntos específicos. Esses resultados sugerem que, ao longo do tempo, houve uma evolução na pesquisa, com uma progressiva interconexão entre os termos investigados. Essa integração de temas e a emergência de conceitos como a "economia circular" indicam uma evolução conceitual e uma abordagem mais abrangente e interdisciplinar na investigação científica nessa área específica de estudo. De maneira geral, constata-se que o número de conexões entre os temas diminuiu ao longo do tempo, indicando uma maior consolidação e desenvolvimento de áreas específicas de pesquisa. Alguns temas evoluíram e se desenvolveram de forma estável, demonstrando um crescimento contínuo. Essas tendências apontam para a importância crescente dos temas relacionados à economia circular, resíduos e biorrefinaria. Diante dessas tendências, torna-se iminente a necessidade de políticas e práticas voltadas para a recuperação dos biorresíduos.

Fig. 3.6 - Mapa de evolução temática de acordo com as palavras chaves dos autores.



O gráfico de linhas (Fig. 3.7) que foi desenvolvido com base nas palavras-chave dos autores revela as inter-relações mais relevantes entre as palavras-chave ao longo do tempo. O gráfico aponta para o crescimento para os campos de estudo "sustentabilidade", "biorrefinaria" e "biomassa" a partir de 2019. Esse aumento no uso e na relevância dessas palavras-chave pode ser interpretado como uma indicação da crescente necessidade de desenvolvimento sustentável, utilizando tecnologias de biorrefino para a recuperação de biorresíduos e a produção de energia. A inclusão do tema "sustentabilidade" sugere um maior foco na abordagem holística e bioecológica. Além disso, o destaque das palavras-chave "biorrefinaria" e "biomassa" indica a importância do uso eficiente de recursos renováveis e da exploração de biomassa como matéria-prima para a produção de bioprodutos e bioenergia. Essa tendência pode refletir uma maior conscientização sobre a necessidade de reduzir a dependência de recursos não renováveis e explorar alternativas sustentáveis.

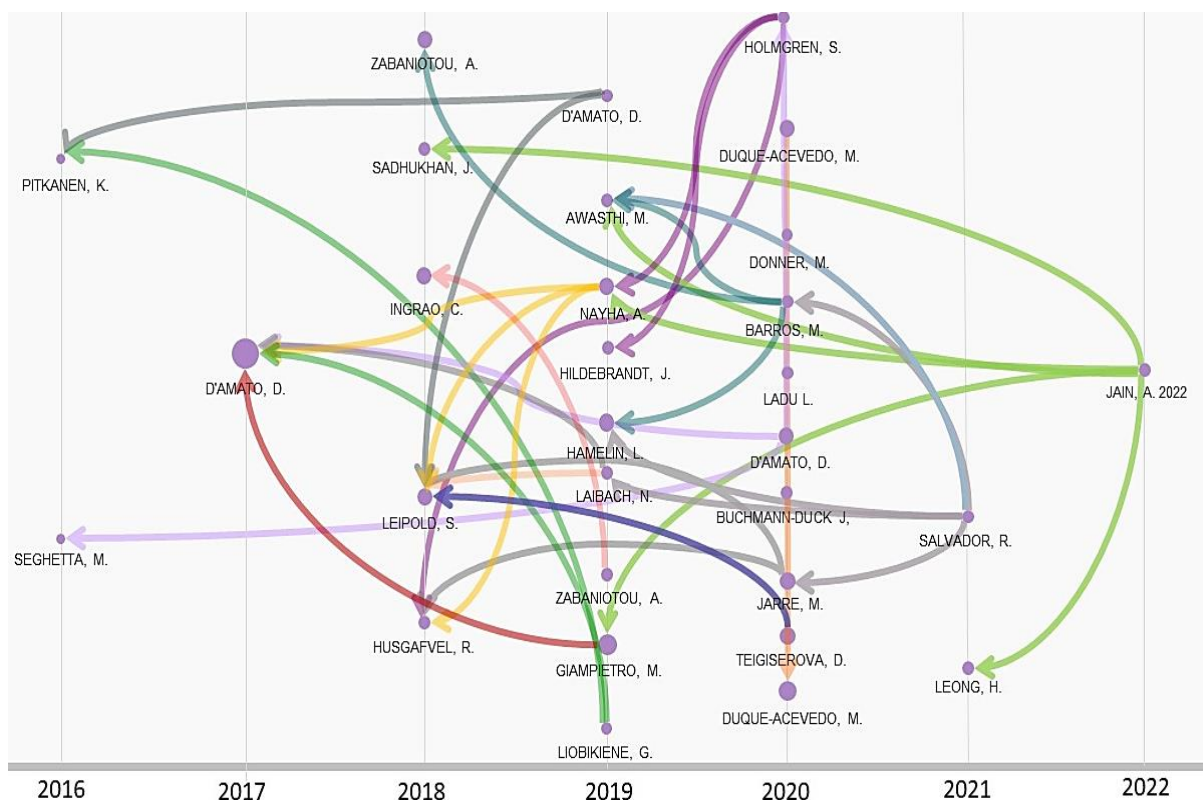
Fig. 3.7 - Gráfico de linhas para a evolução no número de palavras-chaves dos autores.



Com base no *score* de citação local (LCS), foi desenvolvida uma Rede Histórica de Citação Direta, que representa a quantidade de vezes que um artigo da amostra foi citado por outros artigos da amostra. Para manter a clareza do gráfico e facilitar a análise subsequente, foram selecionados os 30 artigos com os maiores valores de LCS. A Fig. 3.8 ilustra a Rede histórica de citações diretas. Na Rede Histórica de Citação Direta, alguns artigos se destacam em termos de sua importância, com um número significativamente maior de citações. Em

particular, o artigo de D'Amato et al. (2017) é o mais citado, com 64 citações diretas, seguido por Giampietro (2019) com 20 citações e D'Amato et al. (2020) com 19 citações entre dos 30 principais artigos (representados pelas arestas entre os nós). Esses artigos desempenham um papel crucial como referências no contexto da Bioeconomia Circular e desempenham um papel fundamental na geração de discussões e reflexões que estão sendo desenvolvidas nesse campo de estudo. Dessa forma, esses artigos são considerados elementos essenciais para a consolidação do conhecimento e o progresso contínuo da Bioeconomia Circular. Pode-se perceber que apesar do campo de estudo ainda se apresentar com baixa maturidade, durante esse curto período, esses artigos foram citados continuamente, portanto, provavelmente permanecerão influentes ao longo dos anos. Esses artigos, portanto, podem ser considerados os principais documentos de referência em torno dos quais a discussão sobre a Bioeconomia Circular tem construída e suas "ramificações" também merecem atenção. Essas ramificações podem incluir estudos subsequentes, pesquisas complementares e aplicações práticas que se baseiam nas ideias e nas descobertas apresentadas nos artigos principais.

Fig. 3.8 - Rede histórica de citações diretas dos 30 principais artigos para a Bioeconomia Circular



* o tamanho dos nós representa o número de citações recebidas. Quanto maior o nó, maior o valor de LCS. Uma tabela com os 30 artigos e seus respectivos valores de LCS pode ser encontrada no Apêndice A.

4. O POTENCIAL DE UMA BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: PROPOSTA DE REVISÃO INTEGRATIVA

Embora as atividades antrópicas tenham moldado e modificado constantemente os ecossistemas naturais desde os primeiros relatos, os padrões de consumo no passado tinham menor capacidade de pressionar esses ecossistemas, conseqüentemente, eram menos críticos para a capacidade regenerativa da biosfera (Landi et al., 2018). No cenário atual, as práticas de consumo e produção contribuem significativamente para um cenário insustentável envolvendo a transformação e deslocamento geográfico da matéria, ocasionando fluxos de energia, resíduos e impactos sobre os serviços ecossistêmicos locais (Omer, 2008). Uma extensão importante da Teoria Geral dos Sistemas é a pesquisa sobre trocas ecológicas desiguais, que esclarece como a divisão do trabalho tem sido vinculada à extração do capital natural e à distribuição de riscos socioecológicos, em que o crescimento econômico seria inconcebível sem o influxo do capital natural (Skyttner, 1996). A Teoria Geral dos Sistemas tem sido aplicada em diversas pesquisas a respeito do intercâmbio ecologicamente desigual, incluindo a análise do comércio que mensura a quantidade de recursos naturais ou emissões transferidos pelas fronteiras durante atividades comerciais, como energia, material, terra ou carbono incorporados; a quantificação da dívida ecológica, que avalia o acúmulo histórico de danos ecológicos e injustiças causados por países desenvolvidos aos países emergentes por meio de fenômenos como colonialismo, imperialismo e globalização; e a exploração de soluções baseadas na natureza, que investiga o potencial do uso de ecossistemas naturais e biodiversidade para oferecer alternativas sustentáveis em substituição a tecnologias e produtos dependentes de combustíveis fósseis. Essas desigualdades socioecológicas estão ligadas ao poder político assimétrico e essa assimetria de poder, que por sua vez, está interligada à produção desigual de conhecimento científico. As perspectivas analíticas sobre a produção desigual de conhecimento são conducentes à compreensão da economia política e das desigualdades relacionadas à produção de conhecimento entre países e dentro deles (Backhouse et al., 2021).

Muitas das funções essenciais das quais os seres humanos dependem dos serviços ecossistêmicos fornecidas pelos ecossistemas naturais de suporte como a polinização, decomposição, armazenamento de carbono e regulação do clima (Smith et al., 2013). Os ecossistemas urbanos também fornecem serviços vitais para o bem-estar humano, tais como

a purificação do ar e mitigação do calor por meio das árvores e áreas verdes; a regulação do clima por meio da umidade e dos ventos provenientes dos parques e corpos d'água; o controle de enchentes e erosão do solo por meio pelos sistemas de drenagem; a produção de alimentos em hortas urbanas e comunitárias; o fornecimento de áreas de lazer e recreação, como parques, praças e áreas verdes; a preservação da biodiversidade e dos habitats naturais e a redução da poluição sonora por meio de espaços públicos bem projetados (Gómez-Baggethun et al., 2013). No entanto, a pressão exercida pelo desenvolvimento urbano tem acirrado na degradação dos ecossistemas naturais. Isso tem impactado negativamente a saúde humana, a qualidade de vida e as economias locais (Mollashahi & Szymura, 2021).

Os ecossistemas urbanos são uma categoria funcional de uso intensivo da terra em que os seres humanos desenvolvem e sustentam sistemas complexos com uma organização espacial altamente variada e dinâmica. Em relação aos limites espaciais, os ecossistemas urbanos consistem em áreas urbanas e periurbanas e a prestação de serviços ecossistêmicos se misturam com as infraestruturas robustas que determinam grande parte do sucesso ou fracasso de políticas socioecológicas e econômicas (Keith et al., 2020). O planejamento urbano e investimentos em infraestruturas geralmente não são capazes de acompanhar o uso do capital natural e a produção de resíduos, um fator crucial no significativo desequilíbrio entre "*inputs*" e "*outputs*". A influência das atividades antrópicas em ambientes construídos é amplamente reconhecida como um obstáculo significativo para a sustentabilidade urbana (Golubiewski, 2012). Em comparação com outros ecossistemas, suas diferentes interações geram características emergentes e *feedbacks* extremamente complexos (Berry & Kasarda, 1977; Shochat et al., 2006). Embora a literatura tenha identificado o planejamento urbano como uma das principais ferramentas para alcançar alguns dos principais objetivos para o desenvolvimento sustentável, considerar os ecossistemas urbanos como sistemas socioecológicos adaptativos desafia as visões tradicionais, exigindo soluções de planejamento flexíveis e criativas (Botequilha-Leitão & Díaz-Varela, 2020). Nesse sentido, a compreensão e o gerenciamento desses sistemas requerem uma abordagem interdisciplinar que considere os aspectos socioecológicos, tecnológicos e econômicos da urbanização, assim como seus limites biofísicos.

Um ecossistema urbano de baixa entropia é um nicho sociocultural adaptativo, autoconsciente e autopoietico, que busca aumentar sua complexidade socioecológica e estrutural e minimizar a entropia, adicionando e otimizando elementos funcionais e sinapses

e reduzindo as perdas. Nesse sentido, é fundamental monitorar continuamente as fases de desenvolvimento do sistema, pois o acréscimo de entropia pode levar à ineficiência das operações governamentais e à reversão da trajetória evolutiva do sistema. Não obstante, é indiscutível que o progresso requer a participação ativa tanto dos atores envolvidos quanto das partes interessadas. Como resultado, é de vital importância incorporar a monitorização e a avaliação socioecológica nas áreas de desenvolvimento urbano que possam prejudicar a relação entre os serviços ecossistêmicos e os ecossistemas naturais, de modo que questões concernentes à distribuição justa, equidade e responsabilidade devem ser meticulosamente ponderadas.

As práticas e estratégias políticas muitas vezes priorizam alternativas econômicas que não esclarecem alternativas e diagnósticos sobre um quadro mais amplo considerando questões socioecológicas predominantes (Bakan et al., 2022; Chavan et al., 2022). Algumas das principais dificuldades para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana estão relacionadas à escassez de recursos financeiros e de capital para investir em modelos de negócios inovadores; à fragmentação de padrões e esquemas de certificação no setor de bioenergia, que resulta em incerteza tanto para os produtores quanto para os consumidores; à falta de regulamentações e critérios específicos para a destinação adequada de resíduos biológicos industriais, que restringe o potencial de valorização e reutilização desses materiais; e à baixa conscientização e aceitação de produtos e serviços de base biológica por parte dos atores e partes interessadas como consumidores, formuladores de políticas e setor privado (Salvador et al., 2022; Yang & Yang, 2022).

Um dessas questões diz respeito ao planejamento urbano e como equilibrar a demanda pelo uso do capital natural e a oferta dos serviços ecossistêmicos. Uma das principais estratégias de planejamento urbano é construir cidades compactas a fim de reduzir os impactos da expansão urbana e gerar sinergias entre serviços ecossistêmicos, como melhoria da eficiência energética, transporte público e coesão social. No entanto, esse cenário pode implicar compensações entre serviços ecossistêmicos, como espaço verde reduzido, biodiversidade, recreação e qualidade do ar, criando relações diretas devido às interações entre os serviços e relacionamentos indiretos devido ao fato de que o mesmo fator afeta ambos os serviços (Haase et al., 2014). Outra questão no planejamento urbano é como lidar com áreas periurbanas, consideradas zonas de transição entre áreas urbanas e rurais, que experimentam rápidas mudanças no uso do solo. O uso do solo é um componente-chave dos

ecossistemas que suportam múltiplas funções e serviços, como ciclagem de nutrientes, regulação da água, sequestro de carbono e produção de alimentos. No entanto, o uso do solos são frequentemente negligenciados ou subestimados nos processos de planejamento urbano, apesar de sua importância para o bem-estar dos ecossistemas urbanos (Dolley et al., 2020).

Essas barreiras demandam ações coordenadas de diferentes atores-chave, tais como governos, indústria, academia, sociedade civil e consumidores. No entanto, os caminhos de desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular tem negligenciado questões essenciais, como disponibilidade de recursos e compensação insuficiente por serviços ecossistêmicos (Cong & Thomsen, 2021; Salvador et al., 2021). Essas barreiras se configuram como lacunas de pesquisa e justificam a necessidade de uma revisão integrativa de literatura como uma ferramenta crítica de pesquisa. Assim, as questões de investigação abordadas no capítulo que ainda merecem uma investigação mais aprofundada são: *Como a literatura científica aborda a intersecção “Bioeconomia Circular” e “Ecossistemas Urbanos”? Quais são os principais impulsionadores socioeconômicos, barreiras e compensações para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana? Quais os principais tópicos de pesquisa emergentes e como se interrelacionam?*

Assumindo que a mudança de paradigma para uma Bioeconomia Circular depende significativamente de seu desenvolvimento nos ecossistemas urbanos, existe uma necessidade inerente da inovação, diversificação e integração entre setores e atores para atender às necessidades e preferências diversas e mutáveis da sociedade urbana. A coerência política é fundamental para o sucesso do avanço da narrativa e uma discussão mais profunda é oportuna e relevante. No entanto, é importante questionar os caminhos delimitadores que potencialmente exclui trajetórias capazes de criarem valores socioecológicos e enfrentar desafios que abrangem toda a sociedade. Para tanto, este capítulo avalia a "narrativa convencional" subjacente à visão tecnoeconômica que não considera tais implicações socioéticas ou ecológicas. A Teoria de Redes Complexas (Watts & Strogatz, 1998) e a Teoria da Ação Coletiva (Olson, 1971) são as teorias "pano de fundo" para esse capítulo. O ponto lógico que a pesquisa busca explorar são as falhas socioeconômicas onde as dificuldades em produzir ações coletivas seriam diretamente proporcionais ao tamanho dos grupos e dependem da complexidade envolvida.

A Teoria de Redes Complexas lida com o estudo de sistemas complexos compostos por elementos interconectados, sendo amplamente aplicada para investigar a natureza

sistemática e o subsequente comportamento das interações entre atores na topologia de redes (Estrada, 2012). A teoria estuda as propriedades e características das redes que não são nem puramente regulares nem puramente aleatórias, mas que têm um certo grau de ordem e desordem. Estas redes apresentam frequentemente características como a distribuição de graus sem escala, o efeito de "mundo pequeno", o coeficiente de agrupamento, a estrutura comunitária e a organização hierárquica. A teoria também explora a forma como a topologia das redes afeta os processos que nelas ocorrem, como a difusão de informações, a propagação de epidemias, a sincronização, as falhas em cascata e a resiliência (Watts & Strogatz, 1998). Seu uso apresenta duas vantagens distintas em relação às abordagens convencionais de análise de sistemas. Em primeiro lugar, a teoria explora o relacionamento em rede, enfatizando uma perspectiva sistêmica e global. Em segundo lugar, ela possibilita a investigação do posicionamento e da função de subsistemas, atores e partes interessadas inseridos no sistema como um todo, permitindo a identificação de nós cruciais ou vulnerabilidades centrais e fornecendo suporte à tomada de decisões para o controle do sistema (Song et al., 2022). Além disso, é possível identificar gargalos, pontos de estrangulamento e oportunidades de melhoria, além de oferecer suporte à tomada de decisões estratégicas (Havlin et al., 2012).

A Teoria da Ação Coletiva, por sua vez, se contrapõe a metáfora da "mão invisível", que inverte a moralidade tradicional ao atribuir um caráter positivo em termos sociais à busca do interesse próprio, justificando assim a própria economia de mercado (Rothschild, 1994). Sua premissa remete a ideia de que em situações específicas, a mera prossecução do interesse individual de um membro, material ou não, acaba por produzir resultados negativos para a promoção de interesses comuns (Ostrom, 2015). Ou seja, a teoria parte do princípio de que as pessoas atuarão de forma a maximizar os seus próprios benefícios e a minimizar seus custos. No entanto, por vezes, o melhor resultado para o indivíduo não é o melhor resultado para o grupo, e vice-versa. Isto cria um dilema entre os interesses individuais e coletivos. Por meio da aplicação da Teoria da Ação Coletiva, podemos identificar como as interações entre os diversos atores e partes interessadas envolvidos nos ecossistemas urbanos podem influenciar na adoção de estratégias. Isso inclui a identificação de como a cooperação e coordenação entre os atores podem ser incentivadas e como as barreiras à adoção de práticas insustentáveis podem ser superadas.

No desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana, a teoria da ação coletiva e a teoria das redes complexas podem ser relacionadas e integradas para investigar a narrativa tanto por uma perspectiva estrutural como comportamental. O uso das teorias podem fornecer *insights* sobre os desafios e oportunidades para o desenvolvimento de uma narrativa que seja sustentável, resiliente, inclusiva e inovadora. Os desafios enfrentados podem ser superados por meio da formação de coalizões e parcerias entre diferentes atores e partes interessadas, como governos, empresas, organizações da sociedade civil e comunidades locais. Essas coalizões têm a capacidade de trabalhar em conjunto para estabelecer políticas públicas favoráveis, promover investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), compartilhar conhecimentos e melhores práticas, e facilitar a transferência de tecnologia. Além disso, a Teoria da Ação Coletiva destaca a importância da criação de normas sociais e culturais. Isso inclui a conscientização da sociedade sobre os benefícios da Bioeconomia Circular, o estímulo à participação cidadã e o fortalecimento da colaboração entre diferentes grupos de interesse.

4.1 Princípios e definições teóricas

4.1.1 Entropia

A segunda lei da termodinâmica, subjacente à noção de entropia, rege todos os processos biofísicos e define a capacidade máxima de produção de cada sistema. A palavra entropia é formalmente definida como uma medida do número de possíveis microestados de um sistema se referindo à medida da desordem, ou seja, a quantidade de energia disponível (Wehrl, 1978). As leis da termodinâmica se aplica a todos os sistemas e envolvem o processamento de matéria e energia, incluindo as atividades econômicas de produção e consumo. A entropia têm implicações significativas, pois descartam o modelo de uma economia independente da natureza, incapaz de crescer indefinidamente sem limitações e fica cada vez mais evidente a necessidade de práticas que reconheçam e enfrentem explicitamente a mudança, levando em consideração a profunda incerteza inerente (Cengel et al., 2014).

Todo o universo físico ao nosso redor consiste em energia e refletem matéria mais o trabalho adicional necessário para criá-los e sustentá-los. Em algum momento, o sistema atinge o equilíbrio, implicando que a energia obtida da fonte é dissipada como entropia para atingir equilíbrio. Quando os sistemas atingem esse equilíbrio, os organismos devem buscar

fontes alternativas. No entanto, à nível socioeconômico, essa a mudança requer adaptações técnicas o que pode gerar graves consequências socioeconômicas (Norde, 1997). Por exemplo, se os alimentos, água e energia se tornarem escassos ou se degradarem devido às alterações ecológicas, os seres humanos terão de investir mais capital financeiro e intelectual para desenvolver tecnologias alternativas. Esta situação afeta a qualidade de vida, a distribuição da riqueza, a estabilidade das instituições e a coesão social das sociedades humanas.

4.1.2 Economia Circular

A Economia Circular é fundamentada em uma coleção diversificada de ideias provenientes de várias disciplinas e conceitos oriundos de diferentes campos de estudo, que formam a base de seus princípios. De acordo com Blomsma & Brennan (2017), esses princípios são reunidos sob um conceito "guarda-chuva", utilizado uma forma ampla para abranger e explicar uma variedade de fenômenos distintos, estabelecendo conexões entre princípios pré-existentes que anteriormente não estavam relacionados. Os princípios de circularidade agrupam uma ampla gama de estratégias de gestão de resíduos e recursos, com foco em prolongar a vida útil dos recursos, gerar valor e evitar perdas de materiais (Homrich et al., 2018). Em essência, a Economia Circular concentra-se na reestruturação das atividades econômicas, utilizando processos naturais, de modo a torná-las regenerativas e acessíveis da melhor forma possível (Geisendorf & Pietrulla, 2018).

Ao contrário do modelo linear tradicional, que segue uma abordagem de "extrair-produzir-descartar", a Economia Circular propõe uma mudança fundamental no modo como os recursos são utilizados. Esse modelo tem como base três princípios fundamentais. O primeiro princípio está relacionado à redução do consumo do capital natural. Isso implica em buscar alternativas para diminuir a extração de matéria-prima virgem, por meio da utilização de técnicas como reciclagem, reutilização e remanufatura. Ao prolongar a vida útil e utilizar os recursos de forma mais eficiente, é possível reduzir a demanda por novos materiais e minimizar o impacto socioecológico associado à extração e produção. O segundo princípio consiste na eliminação do desperdício. Isso envolve evitar o descarte prematuro de produtos e materiais, incentivando sua reparação, redistribuição e reutilização. Ao adotar práticas como a economia de compartilhamento, em que várias pessoas têm acesso a um mesmo produto, e o design de produtos que facilitem a desmontagem e a recuperação de componentes, é possível evitar a geração de resíduos e prolongar a vida útil dos produtos. O

terceiro princípio diz respeito à regeneração dos sistemas naturais. Isso implica em adotar abordagens sustentáveis na gestão dos recursos, promovendo a restauração e preservação dos ecossistemas. Além disso, é necessário repensar os modelos de produção e consumo, garantindo que os recursos utilizados sejam regenerados e renováveis, reduzindo a dependência de recursos não renováveis e minimizando o impacto socioecológico (Bocken et al., 2017; Lewandowski, 2016).

No entanto, sua implementação enfrenta diversos desafios, como a necessidade de alterações nos padrões de consumo e produção, a falta de incentivos políticos e econômicos para a recuperação e reutilização, e a necessidade de investimentos em infraestrutura e tecnologia direcionadas a criação de valores socioeconômicos (Aminoff & Kettunen, 2016; Pinheiro et al., 2022). As definições mais amplamente aceitas descrevem a Economia Circular como um "novo modelo econômico" (Ellen MacArthur Foundation, 2015) que busca promover um "desenvolvimento econômico contínuo" (Zhu et al., 2011) por meio de "uma abordagem de perspectiva econômica ganha-ganha" (Homrich et al., 2018), gerando "novos modelos de negócios" (Kirchherr et al., 2017). Nesse sentido, a Economia Circular consiste em sistema econômico que visa prevenir a exaustão de recursos, "fechar" os ciclos de energia e materiais, e promover o desenvolvimento sustentável em níveis micro (empresas e consumidores), meso (atores econômicos integrados em um processo simbiótico) e macro (cidades, regiões e países). Esse sistema econômico representa uma mudança de paradigma na forma como a sociedade humana interage com a natureza. A adoção desse modelo requer uma transição para um progresso ecológico cíclico e regenerativo na maneira como a sociedade cria, consome e estabelece suas políticas (Prieto-Sandoval et al., 2018).

4.1.3 Bioeconomia

Os princípios da Bioeconomia tem sido frequentemente considerados como parte fundamental da solução de vários desafios globais e uma alternativa para promover o desenvolvimento sustentável (Gawel et al., 2019). A Bioeconomia proposta por Georgescu-Roegen, baseada nos princípios termodinâmicos de entropia e exergia, que implicam que todas as atividades econômicas degradam o ambiente físico e esgotam os recursos de baixa entropia, contrasta com o atual debate sobre o "biocapitalismo" que se concentra na mercantilização dos recursos biológicos e no desenvolvimento de tecnologias com esse propósito. Nesse sentido, a bioeconomia, em tese, deveria visar a conservação recursos e controlar o desenvolvimento e o uso de tecnologias, a fim de servir as verdadeiras

necessidades humanas (Monumento & Doussoulin, 2022). Entretanto, no cenário atual, parece haver pouco consenso sobre o que a mudança de paradigmas em direção a uma economia de base biológica realmente implica. O termo "Bioeconomia" tem sido amplamente utilizado para descrever um setor econômico emergente que se organiza em torno de atividades industriais interdependentes. Uma característica distintiva da Bioeconomia é sua dependência de serviços de provisão, biomassa, recursos genéticos e serviços ecossistêmicos baseados em informações, como biossegurança, bioprospecção e serviços culturais relacionados à educação e avanço científico (D'Amato et al. 2020).

De acordo com Vivien et al. (2019), os princípios da Bioeconomia têm sido subestimados nas últimas décadas, entretanto, atualmente tem ganhado destaque como uma narrativa abrangente que se divide em três visões distintas. A visão Bioecológica, enfatiza os limites da biosfera e busca a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos recursos naturais. Seu foco está na preservação dos ecossistemas e na promoção da sustentabilidade socioecológica. A visão Biotecnológica está fundamentada no desenvolvimento de novas biotecnologias, como o uso de bioinsumos agrícolas, biomateriais, biocombustíveis e avanços na área farmacêutica. Essa visão destaca a aplicação e comercialização da pesquisa biotecnológica em diferentes setores da economia, visando a inovação e o desenvolvimento tecnológico. Por fim, a visão dos Biorrecursos promove a produção e o processamento da biomassa como alternativa para substituir e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, como carvão mineral, gás natural liquefeito (GLP), gases de petróleo liquefeito (GPL), plásticos, entre outros. Seu objetivo é impulsionar a utilização sustentável da biomassa como fonte renovável de energia e materiais.

4.1.4 Bioeconomia Circular

As estratégias para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular evidenciam a necessidade de avançar no aproveitamento da biomassa e dos bioresíduos como substitutos do capital natural finito de origem fóssil. Para desenvolver uma estratégia de longo prazo, é crucial estabelecer conexões entre setores e políticas relevantes, criando uma estrutura política coerente (Hetemäki et al., 2017). A proposição da narrativa vai além da adoção de princípios de circularidade, como a cascata de biomassa, a hierarquia de resíduos e a eficiência no uso de biomassa ou fontes renováveis (Viaggi, 2018). O grau de circularidade desempenha um papel fundamental, pois está relacionado ao princípio de reduzir dependências externas e aumentar o reaproveitamento de recursos já presentes no sistema.

A Bioeconomia Circular engloba a ideia de que os biorrecursos devem permanecer por mais tempo dentro do ciclo técnico, sendo utilizados em diferentes fluxos de valor antes de serem descartados, a fim de gerar benefícios socioeconômicos. Isso significa promover o uso sustentável dos biorrecursos, maximizando seu valor econômico e minimizando a geração de resíduos. A complementaridade entre as narrativas da Bioeconomia e Economia Circular é essencial, de modo que ambas as abordagens devem trabalhar em conjunto, incentivando o uso prolongado dos biorrecursos dentro do sistema, gerando valores socioeconômicos e preservando os ecossistemas naturais (Sherwood, 2020).

Uma possível justificativa para a extensão dos princípios de circularidade à Bioeconomia é aumentar a eficiência da produção e utilização da biomassa. A biomassa é um recurso renovável, mas não ilimitado e não necessariamente sustentável e, sua extração e conversão podem ter impactos socioeconômicos significativos. A reutilização de subprodutos, a recuperação de nutrientes e a recuperação energética, pode ajudar a otimizar o uso da biomassa e minimizar seus impactos socioecológicos. Outra possível justificativa é promover a inovação e a colaboração entre diferentes atores e setores envolvidos nas cadeias de valor por meio de uma perspectiva sistêmica que considere as interdependências e as compensações entre os diferentes usos da biomassa. Isso implica a necessidade de novas tecnologias, modelos de negócios, mecanismos de governança e práticas sociais na mudança de paradigma para uma bioeconomia que se afaste das práticas lineares de produção e consumo (Muscat et al., 2021).

4.1.5 Ecossistemas Urbanos

Um ecossistema urbano é composto por uma variedade de microambientes únicos, que vão desde ecossistemas naturais a habitats quase que inteiramente construídos artificialmente (Pataki, 2015). O processo de urbanização exerce pressão sobre os ecossistemas naturais de suporte, resultando em mudanças no uso e cobertura da terra, como a expansão das áreas urbanizadas, perda de vegetação e habitats naturais, e aumento de superfícies impermeáveis. Essas mudanças têm impactos significativos no clima local, alterando os fluxos de energia e o balanço hídrico, que determinam as trocas de calor e umidade entre a terra e a atmosfera, resultando em características climáticas específicas (Bloom et al., 2008; Kondratyeva et al., 2020). De acordo com Pickett et al. (2003), em um sentido mais amplo, um ecossistema urbano engloba áreas urbanas e periurbanas conectadas ou diretamente gerenciadas e afetadas por materiais e energia de suas partes centrais urbanas

ou suburbanas. Como em qualquer outro ecossistema, os conjuntos de espécies, elementos químicos e ambientes físicos, existem interações que conduzem processos dinâmicos, como ciclagem de nutrientes e fluxos de energia. No entanto, os ecossistemas urbanos apresentam climas distintos, química atmosférica particular, processos hidrológicos, química do solo, dinâmica de nutrientes e comunidades bióticas que se reforçam mutuamente (Donihue & Lambert, 2015). Nesse sentido, um ecossistema urbano pode ser caracterizado como um superorganismo com vários processos metabólicos intrincados, sobrevivência incerta e funções que geram uma ampla gama de incertezas e externalidades (Kapoor et al., 2020).

Embora os projetos de urbanização e infraestrutura urbana tenham um impacto considerável nos serviços ecossistêmicos, frequentemente há inadequação ou negligência nos esforços para projetar esses sistemas. O desafio primordial reside em como minimizar o aumento das vulnerabilidades, simultaneamente possibilitando uma ação climática ampla, abrangente e justa, a considerando que ecossistemas urbanos são essenciais para as relações socioeconômicas, segurança social e alimentar e bem-estar (Lobo et al., 2023). Os efeitos resultantes de uma urbanização desordenada incluem a formação de ilhas de calor, secas, inundações e poluição, que afetam substancialmente todas as sociedades e são características comuns em muitos ecossistemas urbanos. O processo de desenvolvimento urbano também interage com a mudança climática global, que é impulsionada pelo aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera devido às atividades antrópicas. A mudança climática pode ampliar ou modificar os efeitos da urbanização no clima local, alterando os padrões regionais de temperatura, precipitação, vento e umidade. Nesse sentido, as regiões urbanizadas manifestam agrupamentos de populações suscetíveis às repercussões das alterações climáticas (Liu & Niyogi, 2019).

Entretanto, os ecossistemas urbanos ostentam um potencial para atenuar a vulnerabilidade social por meio do fortalecimento de sua capacidade adaptativa, visando a mitigação dos impactos adversos. Os ecossistemas urbanos podem apoiar a conservação da biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas diante das mudanças globais, abrigando diversas espécies, algumas delas raras ou ameaçadas de extinção, e podem servir como refúgios ou trampolins para a vida selvagem, adaptando-se a condições e distúrbios variáveis, como mudanças climáticas, poluição e urbanização (Frantzeskaki et al., 2021). Outro aspecto importante é que esses ecossistemas podem promover a inclusão social e a justiça socioecológica e climática, garantindo acesso equitativo à natureza e seus benefícios

para todos os residentes urbanos, melhorando a qualidade de vida e o bem-estar de pessoas de diferentes origens, culturas e níveis de renda, oferecendo oportunidades para recreação, educação, expressão cultural e envolvimento comunitário, capacitando grupos marginalizados e promovendo a coesão social através do envolvimento em atividades de tomada de decisão e administração relacionadas à natureza urbana (Pineda-Pinto et al., 2021).

4.1.6 *Serviços Ecossistêmicos*

A compreensão dos mecanismos pelos quais os serviços ecossistêmicos entram em colapso, ou seja, quando eles não são mais fornecidos ou diminuem a ponto de não serem mais utilizados permanecem pouco explorados. Consequentemente, nossa compreensão a respeito da vulnerabilidade de muitos, senão de todos os serviços ecossistêmicos é apenas rudimentar. Os diferentes serviços ecossistêmicos variam em sua vulnerabilidade, no entanto, carecemos de regras gerais que possam explicar essas diferenças (Ross et al., 2021). O paradoxo dos serviços ecossistêmicos é um fenômeno que desafia a suposição de que o bem-estar humano depende da saúde e do funcionamento dos ecossistemas naturais. As sociedades estão inextricavelmente ligadas aos ecossistemas, contando e moldando esses serviços e como eles produzem e fornecem regimes de gestão, tecnologia, posse e arranjos de acesso que beneficiem as sociedades (Balvanera et al., 2017). A ideia por trás do conceito de serviços ecossistêmicos é destacar as vantagens que socioeconômicas que proporcionam ao bem-estar humano e servir como um incentivo efetivo, embora utilitário, para preservar os ecossistemas naturais (Lowe et al., 2022). De acordo com esse pressuposto, a degradação dos ecossistemas e a perda da biodiversidade deveriam levar a um declínio no bem-estar humano, especialmente para aqueles que dependem dos serviços ecossistêmicos para sua subsistência (M. Kumar & Kumar, 2008). No entanto, o bem-estar humano por meio da qualidade de vida aumentou, apesar do declínio em grande escala da maioria da capacidade dos serviços ecossistêmicos (Raudsepp-Hearne et al., 2010).

Stevenson et al. (2021) argumentaram que os serviços ecossistêmicos são muito complexos, vagos e contestados para serem traduzidos em programas acionáveis e enfrentam barreiras estruturais, organizacionais e de nível de atores que limitam sua aceitação e implementação nos processos de governança. Nesse sentido, o paradoxo dos serviços ecossistêmicos tem implicações importantes tanto políticas como econômicas e sugere que não há uma relação simples entre a saúde dos ecossistemas naturais e o bem-estar humano,

e que grupos diferentes podem ter preferências e compensações diferentes em relação aos serviços ecossistêmicos. Isso também implica que pode haver limites e limiares para a adaptabilidade dos sistemas humanos, além dos quais a degradação do ecossistema naturais pode ter consequências irreversíveis e catastróficas para o bem-estar humano. Sendo essencial adotar uma abordagem interdisciplinar para entender e gerenciar as interações entre os ecossistemas e as sociedades humanas (van Eeten & Roe, 2002).

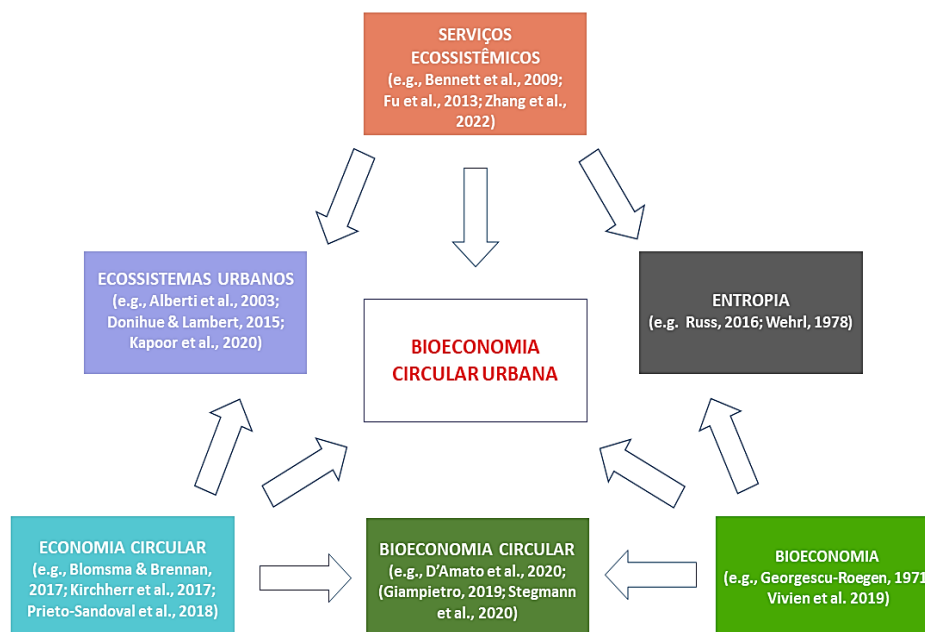
Apesar do crescente reconhecimento da importância dos serviços ecossistêmicos, as pesquisas científicas raramente utilizam uma abordagem sistêmica para compreender os fatores contextuais que afetam a produção, a demanda e o gerenciamento desses serviços ecossistêmicos (McPhearson et al., 2022). Nesse sentido, o entendimento dos serviços ecossistêmicos, até o momento, pode ser generalizado demais e ignora a complexidade e a incerteza dos sistemas ecológicos e suas interações com os sistemas humanos. Por exemplo, alguns serviços ecossistêmicos podem gerar *trade-offs* ou sinergias entre si ou serem dependentes da escala, regiões e culturas. Nesse sentido há uma tensão entre serviços ecossistêmicos e desenvolvimento sustentável, pois implicam em diferentes perspectivas e valores sobre a biosfera. Os serviços ecossistêmicos têm como base uma visão antropocêntrica, que a vê como um recurso ou capital que pode ser explorado, gerenciado ou comercializado para o benefício humano, por outro lado, o desenvolvimento sustentável tem como ponto forte uma visão ecocêntrica, que a vê como um valor intrínseco ou um direito que deve ser respeitado, protegido ou restaurado para seu próprio benefício. Essas diferentes visões podem gerar conflitos ou compensações ao decidir como utilizar e conservar o capital natural crítico (Costanza et al., 2014; de Groot et al., 2012).

As cinco classes que compõem a classificação mais comum dos serviços ecossistêmicos são: (i) *funções reguladoras*: destinadas a manter os processos ecológicos essenciais e o sistema de suporte vital, como gás, clima e regulação da água; (ii) *habitat*: espaços adequados para manter a diversidade biológica e genética, como funções de berçário e refúgio; (iii) *suporte*: permite o estabelecimento da atividade humana, como a água, o ar e o substrato; (iv) *produção*: relacionada ao fornecimento de recursos naturais como alimentos, matérias-primas, recursos genéticos e medicinais; e (v) *informações*: tem como base a capacidade do ecossistema para o desenvolvimento cognitivo, como histórico, cultural e científico (de Groot et al., 2012; Maes et al., 2018).

4.2 Método de pesquisa

A revisão integrativa resume a literatura a fim de proporcionar uma compreensão dos princípios e teorias que dão corpo a narrativa da Bioeconomia Circular Urbana. O método permite a busca, a avaliação crítica e a síntese das evidências disponíveis, podendo levar a uma melhor compreensão por meio de uma análise crítica (Torraco, 2016). A escolha metodológica revela-se apropriada para alcançar uma abordagem abrangente e multidisciplinar a respeito uma questão socioeconômica em constante evolução, caracterizada por uma controvérsia sob diferentes visões. O mapeamento dos principais elementos da literatura engloba conceitos fundamentais como Bioeconomia, Economia Circular, serviços ecossistêmicos e entropia considerando suas inter-relações binárias, nomeadamente entre Ecossistemas Urbanos, Bioeconomia Circular e entropia. Além disso, foi estabelecida uma inter-relação ternária denominada "Bioeconomia Circular Urbana" (ver Fig. 4.1). Para o desenvolvimento do capítulo, foram analisados documentos de diferentes áreas disciplinares, como Ciências da Terra e Planetárias, Engenharia, Física e Ciências Sociais. Para tanto, utilizo as etapas metodológicas recomendadas por Souza et al. (2010). A pesquisa utilizou esses constructos como *strings* de busca para identificar o conjunto de publicações que refletem essas inter-relações.

Fig. 4.1 - Mapa das inter-relações binárias e ternárias entre os principais constructos.



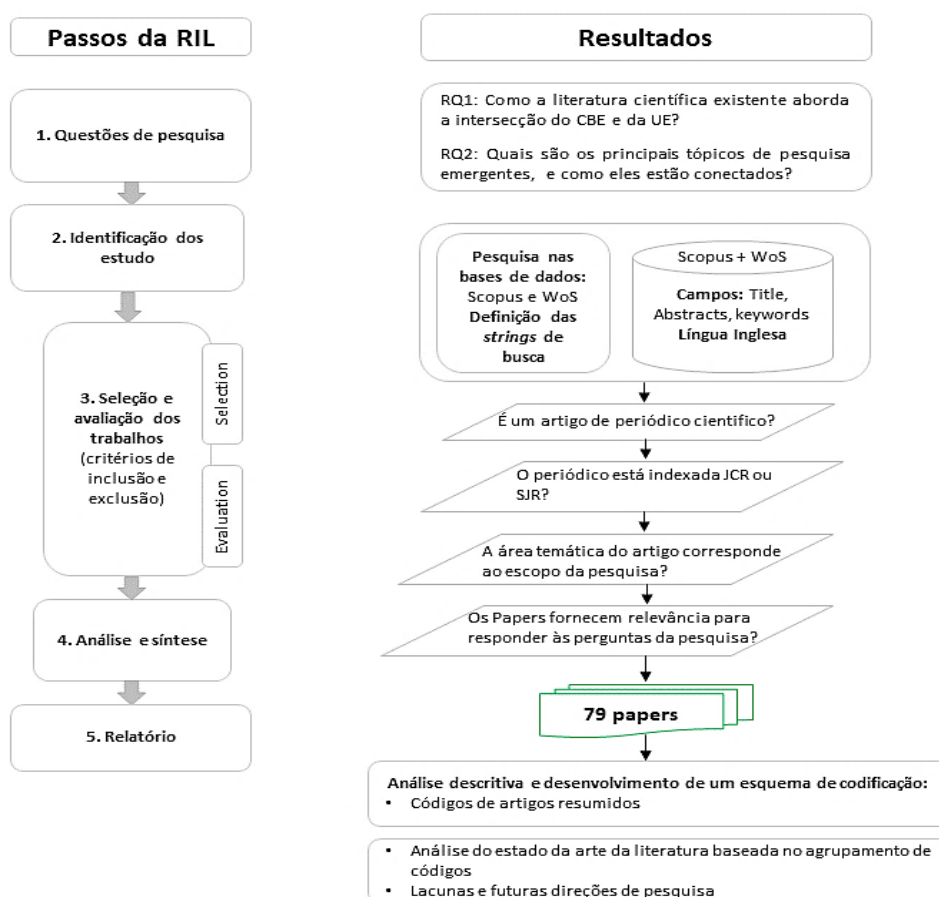
A relevância das palavras-chave escolhidas foi testada usando sequências de pesquisa preliminares potenciais nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. O corpo principal da

literatura selecionada que compõe a amostra é derivado de três sequências de pesquisa combinadas descritos na Tab. 4.1, usando diferentes combinações de termos de pesquisa. As buscas foram realizadas em agosto de 2022. A amostra final é composta por 79 documentos (ver Tab. C1). Outro critério para a escolha da amostra foi o potencial de combiná-la com outras perspectivas para chegar a um referencial teórico relevante que os pesquisadores possam explorar em futuras investigações. A Fig. 4.2 ilustra toda a abordagem do método utilizado na pesquisa.

Tab. 4.1 - Principais *strings* de busca.

Tema de pesquisa	String de busca (termos de busca procurados nos títulos, resumos e palavras-chave)
<i>Circular bioeconomy AND entropy</i>	(TITLE-ABS-KEY ("circular bioeconomy" OR "bioeconomy" OR "bio-based") AND TITLE-ABS-KEY ("entrop*" OR "thermodynamic*")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "english")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))
<i>Urban ecosystem AND entropy</i>	(TITLE-ABS-KEY (" thermodynamic* " OU "entrop*") AND TITLE-ABS-KEY ("urban ecosystem*" OU "urban metabolism")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "english")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))
<i>Circular bioeconomy AND urban ecosystem AND ecosystem services</i>	(TITLE-ABS-KEY ("circular bioeconom*" OR "bioeconom*" OR "bio-base*") AND TITLE-ABS-KEY ("urban ecosystem*" OR "urban metabolism*" OR "urban*" OR "municip*" OR "citi*" OR "city" OR "town*" OR "ecosystem service*" OR "entropy*" OR "thermodynamics")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "english")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))

Fig. 4.2 - Fluxograma de procedimentos da investigação.



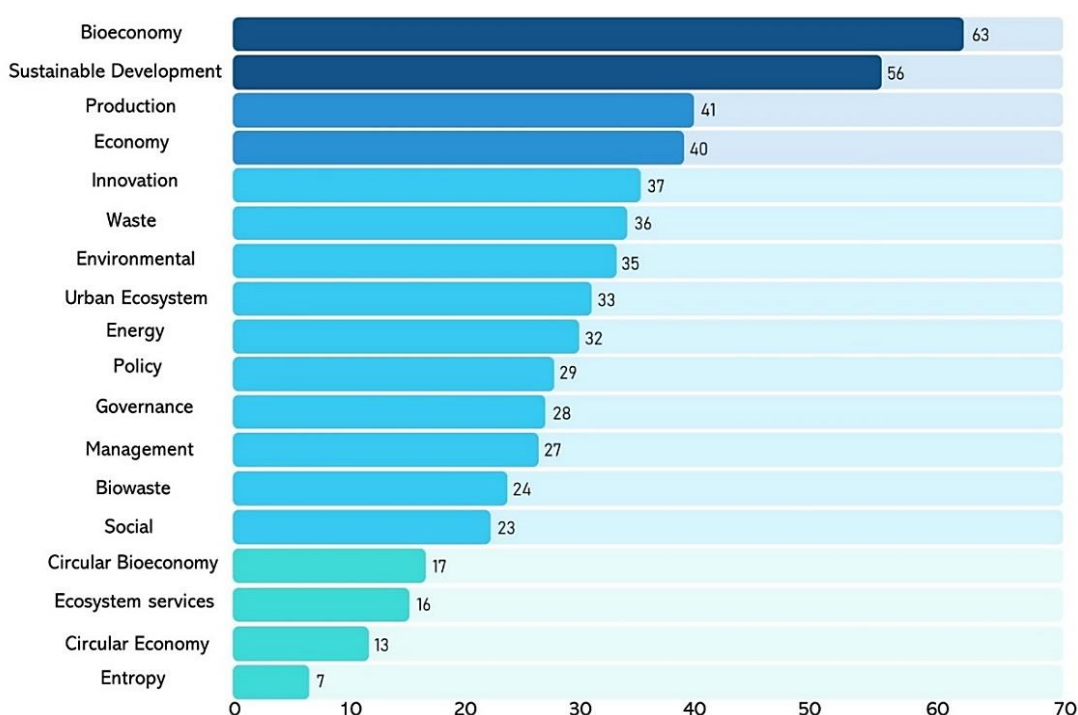
4.3 Análise de output dos códigos

Ao longo da pesquisa, o uso do *software Atlas.ti*, auxiliou no desenvolvimento de uma codificação com base em dezoito códigos decorrentes da análise da amostra que constitui a unidade hermenêutica. A Tab. 4.2 apresenta os termos semanticamente similares que foram agrupados para facilitar o desenvolvimento do estudo. A Fig. 4.3 ilustra a distribuição desses códigos nos resumos dos artigos que compõem a amostra, utilizando um gráfico de barras.

Tab. 4.2 - Lista das dez palavras mais frequentes, termos semelhantes, e suas respectivas ocorrências.

Termo	Ocorrência	Termos semelhantes
Bioeconomy	155	Bioeconomy; Bioeconomies; Bio-economy; Bioeconomic; Bioeconomics; Bio-based economy; Biocycle economy; Green Economy
Waste	152	Waste; Wastes
Sustainable	111	Sustainable; Sustainably; Sustain, Sustainability; Sustaining
Economy*	101	Economy; Economies; Economic; Economics; Economically
Development	92	Development; Develop; developed; developing
Production	90	Production; Product; Products; Productive, Productivity
Environmental	86	Environmental; Environmentally; Environment
Urban	72	Urban; Urbanization
Policy	71	Policy; Policies
Circular	73	Circular; Circularity

Fig. 4.3 - Grau de distribuição dos códigos propostos na amostra.



* A contagem da palavra "economia" não considerou conceitos como "economia circular" ou "economia de base biológica" e seus sinônimos.

4.4 Interrelações binárias

4.4.1 *Limites entrópicos para a Bioeconomia Circular*

A transição das fontes de energia de origem biológica, caracterizadas por baixa densidade e baixa entropia, para o uso predominante de combustíveis fósseis, os quais possuem alta densidade e alta entropia, tem acarretado consequências significativas tanto em termos de limites planetários quanto na interrupção de ciclos biogeoquímicos fundamentais. Esse fenômeno se deve ao fato de que a queima dos combustíveis fósseis libera grandes quantidades de carbono, o qual estava armazenado no subsolo por milhões de anos. Essa liberação de carbono tem provocado perturbações nos ciclos naturais do carbono e contribuído para o aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera, configurando-se como um dos principais fatores responsáveis pelas mudanças climáticas (Folke et al., 2021; Rockström et al., 2009). Qualquer organismo vivo precisa lidar com a entropia. No entanto, nossa evolução biológica se desenvolveu para uma esfera tecnocrática. Esse processo expande nossa existência biológica, permitindo-nos ampliar nosso leque de funções. Supondo que os seres humanos desejem preservar e evoluir, devemos buscar baixa entropia para os processos bioquímicos e fluxos de matéria e energia necessários para as operações do ambiente tecnológico que nos afeta (Georgescu-Roegen, 1975).

Considerando que os limites entrópicos dizem respeito a limiares ou critérios que um sistema deve satisfazer para manter sua funcionalidade ou estabilidade, os limites entrópicos para a Bioeconomia Circular podem estar relacionados ao equilíbrio entre entrada e saída de energia, ou entre ordem e desordem. Os limites entrópicos também podem estar relacionados às compensações ou concessões que um sistema deve fazer para otimizar seu desempenho ou adaptar-se ao meio, de modo que os limites entrópicos implicam a existência de estados ideais ou críticos (Hu & Regenauer-Lieb, 2018). Esses limites podem afetar a eficiência, a sustentabilidade e a resiliência. Por exemplo, os limites entrópicos podem restringir a quantidade de biomassa que pode ser utilizada sem degradar os ecossistemas naturais, ou a quantidade de resíduos que pode ser recuperado sem aumentar a poluição ou o consumo de energia (Giampietro, 2019).

No crescente interesse pelos princípios de circularidade, observa-se uma convergência de discursos e pensamentos entre os setores institucionais públicos e privados. Pela primeira vez, isso tem proporcionado oportunidades de consenso entre os processos de

produção e gestão, representando um marco importante para o desenvolvimento sustentável. Essa perspectiva reflete a necessidade de os governos locais e os principais atores assumirem suas responsabilidades (Giampietro & Funtowicz, 2020). No entanto, a literatura que dá corpo a Bioeconomia Circular frequentemente não usa o paralelo entre circularidade e biosfera como um conceito ecoeficiente, minimizando o consumo e consequentemente a disposição dos biorresíduos, mas sim como um conceito ecoefetivo que consiste no reaproveitando e opera em um padrão cíclico com seu círculo de produtores, consumidores, e decompositores (Morseletto, 2020; Reike et al., 2018). Nesse sentido, é essencial considerar a disponibilidade e a qualidade de recursos biológicos renováveis e fluxos de resíduos que podem ser usados como insumos para processos circulares, os requisitos energéticos e os impactos ecológicos dos processos como a recolha, triagem, o transporte, a transformação, a reutilização e a reciclagem de produtos e materiais. A compatibilidade e a interoperabilidade de produtos e materiais dentro e entre diferentes setores como a agricultura, indústria e serviços, assim como os aspectos sociais e comportamentais como preferências do consumidor, conscientização, participação, incentivos e regulamentações (Korhonen et al., 2018; Kümmerer et al., 2020; Rahman & Kim, 2020).

Ao não considerar as relações sociais e econômicas como dependentes da biosfera, algumas visões distorcidas têm surgido, alegando que mecanismos de preços irão superar as questões relacionadas a escassez por meio do avanço tecnológico. Essa perspectiva frequentemente negligência a compreensão de que os processos biofísicos estão sujeitos a restrições termodinâmicas (Giampietro, 2019). Nesse sentido, os princípios de Economia Circular envolvem uma contradição lógica. Por um lado, a literatura científica tem reconhecido a dependência dos fluxos biofísicos das atividades econômicas. Por outro lado, a solução proposta, principalmente pelos setor privado e organizações internacionais, considerando os princípios de circularidade como um modelo de negócios que busca uma completa dissociação da economia do capital natural, ignorando o fato de que os processos biofísicos estão sujeitos a restrições termodinâmicas.

4.4.2 Entropia para os Ecossistemas Urbanos

Os ecossistemas urbanos são compostos por subsistemas naturais e socioeconômicos, nos quais ocorrem interações e trocas com o "ambiente externo" por meio de fluxos de energia, materiais, informações e interação entre organismos vivos. Esses fluxos têm um impacto significativo na entropia do sistema urbano e de seu entorno. Nesse sentido,

qualquer processo que envolva a transformação de energia resultará na criação de cenários de acréscimo de entropia, especialmente em áreas urbanas informais e ecossistemas naturais não protegidos, mesmo que à grandes distâncias. Os ecossistemas urbanos crescem e se transformam de acordo com suas características e funções, utilizando energia livre, bem como recursos físicos e biológicos, por meio de todo tipo de processos físicos e químicos concebíveis. Conforme ditam as leis da termodinâmica, quando um sistema aberto é submetido a um desequilíbrio devido a influências do ambiente externo por meio de um gradiente aplicado, ocorrerá um crescimento e evolução do sistema, desenvolvendo estruturas e processos adicionais para aumentar sua dissipação total, maximizando assim a utilização de recursos de acordo com a estrutura termodinâmica do sistema (Schneider & Kay, 1994). À medida que o fluxo acumulado do ambiente externo aumenta, o potencial de deterioração e dissipação em um sistema aberto também aumenta. Esses comportamentos são característicos de uma auto-organização em que as taxas de produção de entropia e destruição de exergia aumentam à medida que há um aumento na entrada de recursos (Kay et al., 1999).

As atividades antrópicas frequentemente ocasionam perturbações no equilíbrio, visto que seus processos acarretam mudanças significativas na biodiversidade, contribuindo para o aumento da entropia (Pelorosso et al., 2017). Ao examinar a composição de um sistema considerando as leis da termodinâmica, é possível identificar elementos que contribuem para injustiças sociais, desigualdades econômicas ou impactos negativos. Há uma necessidade iminente de aprofundar políticas e estratégias entre o nexo de padrões de consumo, cadeia de abastecimento e práticas sustentáveis para reduzir as perdas causadas principalmente por ineficiências nas cadeias de abastecimento de alimentos, como infraestrutura e logística deficientes, falta de tecnologia, habilidades insuficientes, conhecimento, capacidade de gestão dos atores da cadeia de abastecimento. Além disso, são necessárias ações na produção, consumo, gestão de resíduos, mercado de matérias-primas secundárias e reuso de água.

A produção e o aumento da entropia durante o desenvolvimento de um ecossistema urbano indica uma condição de fragilidade. Nesse estado, o sistema torna-se vulnerável aos efeitos resultantes de eventos imprevisíveis. Isso implica que, devido à elevada produção de entropia e à baixa reutilização de energia no ecossistema urbano, sua capacidade de resiliência diante de perturbações e eventos imprevisíveis é reduzida. Os potenciais impactos desses eventos podem ser mais significativos e representar desafios mais complexos de

gerenciamento, devido à fragilidade decorrente da produção de entropia (Fistola et al., 2020). Entretanto, é crucial salientar que os ecossistemas urbanos apresentam capacidade de auto-organização e, compreender sua dinâmica, revela-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias adequadas de gestão e conservação. Considerando as leis da termodinâmica, os ecossistemas urbanos devem obedecer a padrões específicos, que envolvem a coordenação e o equilíbrio com os ecossistemas de suporte locais. Essa coordenação permite resistir a interferências decorrentes de flutuações climáticas e manter uma resiliência estável, além de garantir uma estrutura organizacional funcional e a preservação dos serviços ecossistêmicos. Desse modo, é possível manter um estado estável a longo prazo, mesmo diante de desafios e pressões externas (Chang et al., 2021).

4.4.3 Bioeconomia Circular e ecossistemas urbanos

Os ecossistemas urbanos enfrentam desafios que ameaçam sua capacidade de prestar serviços ecossistêmicos como a multifuncionalidade, avaliação sistêmica, incompatibilidade de escala, desigualdade e injustiça (Andersson et al., 2021). O desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular, apesar dos muitos avanços de pesquisas, ainda não resultam em mudanças capazes de alterar completamente os paradigmas dos sistemas socioeconômicos (Bröring et al., 2020). Esse processo necessita de significativos investimentos sendo que o desenvolvimento de tecnologias que não se alinhem com as necessidades socioeconômicas pode levar a caminhos estreitos e insustentáveis. Nesse paradoxo, muito das partes interessadas relacionadas à sociedade civil podem não entender o propósito do desenvolvimento da narrativa, havendo a necessidade de mais evidências práticas (Hetemäki et al., 2017). O comportamento humano é influenciado por desejos, necessidades e à disponibilidade de serviços ecossistêmicos. No entanto, essas características são condicionadas culturalmente (Summers et al., 2012). Mesmo em um suposto modelo de crescimento mais equitativo, ainda existe a preocupação da "Tragédia dos Comuns", na qual a propriedade privada prevalece sobre a sociedade. Nesse cenário, as pessoas agem de maneira independente, racional e de acordo com seus próprios interesses, muitas vezes em detrimento dos interesses e aspirações da sociedade como um todo, levando à exaustão do uso comum do capital natural (Hardin, 1968).

Embora uma Bioeconomia Circular Urbana se concentre principalmente nas áreas urbanas devido à sua importância socioeconômica, manter conexões com o "ambiente externo" é fundamental (Weidner & Yang, 2020; Wielemaker et al., 2019). Assim, a

integração de práticas agrícolas como sumidouros essenciais para o tratamento do excesso de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade do sistema. Da mesma forma, as decisões relacionadas ao projeto e à localização dos componentes da Bioeconomia Circular Urbana, como as infraestruturas verdes, podem se beneficiar de uma combinação de fatores urbanos e periurbanos. Ao integrar áreas verdes urbanas com espaços naturais periurbanos, é possível promover a conservação da biodiversidade, melhorar a qualidade do ar e da água, e proporcionar espaços de recreação e bem-estar para os residentes urbanos (Kircher & Bayer, 2022; Taylor Buck & While, 2021).

A simbiose urbana é caracterizada como *"a utilização de subprodutos (resíduos) de cidades (ou regiões metropolitanas) como matérias-primas alternativas ou fontes de energia para operações industriais"* (Van Berkel et al (2009, p.1). Nesse sentido, uma biosimbiose urbana propõe uma nova maneira de projetar e gerenciar sistemas urbanos englobando quatro elementos fundamentais como os biorrecursos, bioprocessos, bioprodutos e os bioserviços urbanos, podendo ser analogamente equiparada aos processos simbióticos. Seu objetivo é reduzir os impactos da urbanização, otimizando o uso da biomassa e dos resíduos biológicos como recursos renováveis. A biosimbiose urbana abrange não apenas os biorresíduos, mas também outros recursos, como calor e água residual, os quais podem ser utilizados em conjunto e consiste em trocas de materiais e energia, compartilhamento e reutilização de espaço, além do uso de elementos multifuncionais (N.-H. N. Yang & Yang, 2022). Nesse sentido, seu desenvolvimento conceitual, requer uma abordagem crítica e criativa na produção e comunicação do conhecimento urbano, capaz de transmitir a complexidade, a diversidade e o potencial da vida urbana, indo além das narrativas e representações convencionais.

4.5 Estrutura para uma Bioeconomia Circular Urbana

Um dos principais fatores que influenciam a viabilidade e o desempenho da Bioeconomia Circular Urbana é a distribuição espacial dos fluxos de recursos e os possíveis parceiros da cadeia logística (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Gatto & Re, 2021). Nesse sentido, os conceitos de colocalização para a biosimbiose urbana podem apresentar vários benefícios, tais como a economiza de recursos. As cadeias de suprimentos enfrentam um desafio significativo no que diz respeito à integração, decorrente da carência de ferramentas e métodos adequados para lidar com a complexidade inerente à alocação simultânea de recursos. A abordagem sistêmica emerge como o arcabouço conceitual capacitado a

enfrentar a intrincada natureza de cadeias de suprimentos múltiplas. À medida que o número de atores na rede se amplia, a complexidade que permeia a cadeia de suprimentos aumenta, dando origem a desafios como a coordenação com múltiplos fornecedores ou receptores, os custos associados às transações e os custos relativos ao transporte. A concepção de sistemas de cadeia de suprimentos que lidam com uma multiplicidade de produtos traz consigo um patamar elevado de complexidade, de modo que esse cenário se desenha devido à imposição de um conjunto abrangente de restrições e motivos específicos sobre as decisões concernentes à alocação de recursos (Morales et al., 2022). Nesse sentido, o desenvolvimento da Biosimbiose Urbana propõe uma visão de urbanidade fundamentada no cuidado, na criatividade e na colaboração, promovendo o sentimento de pertencimento e a responsabilidade pelo bem comum. Os princípios de Biosimbiose Urbana não se limitam a um conceito teórico, mas também a um projeto prático e político que demanda o envolvimento e a colaboração de diversos atores, como cidadãos, formuladores de políticas, planejadores, designers, pesquisadores e ativistas. Os esforços são necessários para garantir que quaisquer resultados negativos nos caminhos evolutivos inevitável e irreversível possam ser amenizados por meio de uma avaliação cuidadosa, reflexão crítica e gerenciamento dedicado (Bali Swain & Sweet, 2021).

As questões relacionados a trajetórias dependentes podem surgir em virtude da inadequação dos arcabouços institucionais preexistentes às demandas específicas da bioeconomia. De fato, as instituições políticas e jurídicas que regem os sistemas econômicos atuais, tais como direitos de propriedade intelectual, proteção ao consumidor e direitos ambientais, desenvolveram-se ao longo de períodos prolongados, durante os quais as capacidades tecnológicas da bioeconomia contemporânea eram desconhecidas. Nesse contexto, é altamente provável que as instituições já estabelecidas estejam inadequadamente alinhadas com as necessidades institucionais de uma bioeconomia inovadora e em constante evolução. As trajetórias dependentes institucionais podem, conseqüentemente, conduzir a uma situação em que a bioeconomia enfrenta encargos regulatórios e de transação significativos, o que, por sua vez, pode obstruir a manifestação da dinâmica transformadora intrínseca à Bioeconomia (Dietz et al., 2018).

Alcançar uma governança eficiente que busque a criação e entrega de valores socioeconômicos de maneira equitativa para todas as partes interessadas, exige adquirir um maior conhecimento sobre as causas e efeitos dos padrões de interdependência que conectam

os atores chaves aos sistemas. A governança eficaz não se refere apenas às instituições e regras formais que regulam os assuntos públicos, mas também às redes e práticas informais que moldam as interações entre diferentes atores como o governo local, o setor privado e a sociedade civil (Keping, 2018). Cada questão socioeconômica apresenta particularidades, de modo que compreender suas interconexões fundamental para identificar os impactos sociais, econômicos e ecológicos das decisões e ações tomadas. Isso requer uma análise aprofundada das relações e das dinâmicas envolvidas, levando em consideração os diferentes elementos e variáveis (Bodin et al., 2019). Nesse sentido, a busca por padrões é necessário para que possamos entender as relações causais. Isso envolve a identificação e a análise das práticas que emergem dessas interações e como eles influenciam a dinâmica geral.

Dentre as principais práticas, a pesquisa destaca algumas abordagens relevantes. Primeiramente, a criação de redes de cooperação e compartilhamento, visando estabelecer parcerias entre setor privado, organizações e comunidades locais. Essas redes têm o objetivo de promover a colaboração na utilização e compartilhamento de recursos, otimizando sua eficiência (Donner & de Vries, 2021). Outra prática relevante é o desenvolvimento de ecossistemas de inovação, que estimulam a criação de tecnologias dedicadas a superar os desafios socioeconômicos e práticas que permitam a redução do desperdício (Moktadir et al., 2022). Essas conexões desempenham papel crucial na promoção da circularidade de recursos e do acoplamento biossimbiótico, de modo que práticas como a produção e consumo de alimentos em pequena escala, a criação de hortas urbanas e a implementação de sistemas de compostagem e reciclagem se tornam centrais a narrativa. Essas abordagens visam reduzir o desperdício de alimentos, incentivar a agricultura urbana e fortalecer a conexão entre os habitantes da cidade e os processos de produção de alimentos (Taylor Buck & While, 2021).

Integrar indústrias que dependem combustíveis fósseis, em particular, é um objetivo chave para a Bioeconomia Circular. Isso se aplica tanto às partes da indústria química quanto às partes da indústria de transporte que dependem de combustíveis de alta densidade energética (Morone & D'Amato, 2019). Algumas barreiras que podem surgir durante esse processo dizem respeito a dependência de infraestrutura existente, a disponibilidade limitada de biomassa, a escala e eficiência de produção e aos impactos ambientais e sociais relacionados à degradação do solo, a perda de biodiversidade e conflitos sobre o uso da terra (Irfan et al., 2022). No entanto, esses setores também podem se beneficiar e criar valores socioeconômicos a partir de soluções de base biológica que podem substituir ou

complementar materiais e processos de base fóssil tais como os bioplásticos que podem ser produzidos a partir de biomassa ou biorresíduos, os biocombustíveis podem ser derivados de culturas ou algas, e os produtos químicos de base biológica podem ser sintetizados a partir de enzimas ou microrganismos (Ashokkumar et al., 2022). Os bioplásticos de biomassa e biorresíduos, os biocombustíveis de culturas e algas e os produtos químicos de base biológica de enzimas ou microrganismos representam alternativas promissoras aos materiais e processos convencionais de base fóssil. Ao fazer a transição para práticas sustentáveis, esses setores podem reduzir seu impacto socioecológico, contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e criar valores além do econômico (Lwanga et al., 2022).

Ao reduzir a distância e o custo do transporte de recursos, economiza-se energia, água e materiais que, de outra forma, seriam desperdiçados ou consumidos no processo. Ao aumentar a disponibilidade e a diversidade de recursos, a colocalização também podem reduzir a demanda por recursos externos que podem ser escassos ou de alto custo (Shi et al., 2023). A colocalização de instalações de tratamento de resíduos e estações de tratamento de águas residuais também se tornam essenciais. Os biorresíduos urbanos recuperados podem ser convertidos em energia, que pode então ser usada para alimentar as estações locais de tratamento de águas residuais. A colocalização de instalações de tratamento de resíduos em instalações existentes, portanto, podem resultar em redução de resíduos e o aumento do potencial energético, além de receitas financeiras adicionais (Talan et al., 2021). A partir dos mesmos princípios, as biorrefinarias urbanas podem ser uma maneira eficaz de valorizar diretamente os biorresíduos pela produção de bioenergia, reduzindo custos logísticos e a necessidade de construção de novos aterros sanitários, projetados para receber e tratar os resíduos de forma controlada, com medidas para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea, pois esses biorresíduos seriam processados e removidos gradualmente (Madadian et al., 2021).

A descentralização, por outro lado, pode aumentar a disponibilidade e a diversidade de recursos, além de reduzir a dependência e a vulnerabilidade do sistema a choques ou interrupções externas. A descentralização da gestão de bioresíduos, teria o potencial para maior eficiência no uso de recursos, autonomia e autossuficiência das partes interessadas locais. Um sistema descentralizado de produção de bioenergia caracterizado pela colocalização de instalações mais próximas do local de consumo permitem o uso otimizado, de modo que esse modelo pode reduzir as ineficiências de transmissão e distribuição, custos

econômicos e ecológicos relacionados. Nesse sentido, uma cidade pode implementar uma simbiose urbana descentralizando seu sistema de energia, como o uso de fontes de energia renovável ou tecnologias de transformação de biorresíduos em energia em diferentes escalas como, prédio, condomínio ou bairros para atender à sua demanda energética (Fidelis et al., 2023). Um ecossistema urbano também pode implementar a descentralização seu sistema de abastecimento de água, como o uso de coleta de água da chuva, reciclagem de água cinza ou tratamento de águas residuais em diferentes escalas para complementar seu abastecimento (Shi et al., 2023).

A relação básica entre a descentralização e a colocação está na sinergia potencial que surge quando esses dois conceitos são integrados de forma eficaz ao capacitar atores e partes interessadas para que assumam o controle do planejamento e do desenvolvimento de sua infraestrutura. A tomada de decisão à nível local permite projetar sistemas de infraestrutura personalizados de acordo com as características e necessidades. Além disso, o agrupamento de indústrias e instalações de base biológica, como biorrefinarias, usinas de bioenergia e unidades de fabricação de bioprodutos, em áreas específicas pode criar sinergias no compartilhamento de recursos, na utilização de resíduos e na troca de conhecimentos, levando ao aumento da eficiência e à redução dos impactos socioecológicos, bem como projetos urbanos com espaços verdes, hortas comunitárias e agricultura urbana para promover ambientes mais sustentáveis e biodiversos.

A descentralização pode facilitar a implementação de biosimbiose urbana ao permitir mais autonomia e flexibilidade aos atores locais para se adaptarem a desafios específicos. A descentralização pode também permitir uma maior experimentação e inovação nos biosistemas urbanos, bem como uma maior responsabilização e transparência nos processos de tomada de decisão. A cooperação é essencial para a biosimbiose urbana, uma vez que requer a coordenação e integração de múltiplas disciplinas, sectores e perspectivas. A cooperação pode também reforçar o capital social e a confiança entre as diferentes partes interessadas, criando um sentimento de responsabilidade partilhada e de apropriação dos biosistemas urbanos. A cooperação pode também promover o intercâmbio de conhecimentos e de melhores práticas, bem como a criação de sinergias e complementaridades entre os diferentes atores. A Fig. 4.4 fornece uma representação visual concisa dos elementos físicos essenciais para a promoção de uma Bioeconomia Circular Urbana.

Fig. 4.4 - Componentes físicos essenciais para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana.



A Agricultura Urbana representa a prática de cultivar, processar e distribuir alimentos e outros produtos nas áreas urbanas e em seus arredores e contribui para a segurança alimentar, a melhoria da nutrição, a geração de renda e inclusão social. As formas de Agricultura Urbana variam, abrangendo hortas comunitárias, hortas em telhados, jardins verticais, sistemas hidropônicos e pomares urbanos (Viaggi & Zavalloni, 2021). Por outro lado, a recuperação e valorização dos Biorresíduos refere-se ao processo de recuperação dos biorresíduos. Esse processo reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, diminui as emissões de gases de efeito estufa, preserva os biorrecursos e cria novas oportunidades socioeconômicas. A valorização de biorresíduos pode envolver diversas

tecnologias e métodos como compostagem, digestão anaeróbica, pirólise, gaseificação, fermentação e biorrefino (Taffuri et al., 2021). Por fim, as Infraestruturas Verdes, por sua vez, englobam uma rede de áreas naturais e seminaturais, planejadas e gerenciadas estrategicamente para oferecer diversos benefícios aos ecossistemas urbanos. Tais vantagens incluem aprimoramento da qualidade do ar, mitigação das mudanças climáticas, aumento da biodiversidade, redução da poluição sonora, estímulo à recreação e bem-estar (Venkatesh & Se, 2021).

Esses três componentes estão interligados e se complementam, apresentando o potencial de criar sinergias e fluxos circulares de materiais e energia dentro do sistema urbano, promovendo um sistema mais resiliente. Por exemplo, as infraestruturas verdes podem proporcionar serviços ecossistêmicos e recursos para a agricultura urbana, como nutrientes, polinização e controle de pragas. A agricultura urbana, por sua vez, pode contribuir para a recuperação dos biorresíduos como fatores de produção para compostagem ou digestão anaeróbia. A valorização de biorresíduos pode apoiar as infraestruturas verdes e a agricultura urbana, fornecendo nutrientes para a melhoria dos solos, a promoção de uma agricultura urbana e periurbana assim como o tratamento da água. Nesse sentido, a biosimbiose entre esses três componentes podem gerar benefícios sociais, económicos e ecológicos como a melhoria da segurança alimentar, a criação de emprego, a poupança de custos, a redução das emissões de gases com efeito de estufa e a melhoria do bem-estar.

Esses elementos estão interconectados de várias maneiras, formando uma rede de relações que influenciam o comportamento e os resultados do sistema. A teoria das redes complexas oferece ferramentas para analisar estas interações, prever o comportamento do sistema e identificar pontos de alavancagem para intervenção. Ao aplicar esta teoria, os decisores políticos e os planeadores urbanos podem tomar decisões informadas para fomentar o desenvolvimento de bioeconomias circulares que aumentem a eficiência dos recursos, reduzam os resíduos, promovam práticas sustentáveis e contribuam para o bem-estar geral das populações urbanas, minimizando a degradação ecológica. A representação através de uma visão de rede combina uma série de nós (códigos) sociais e biofísicos, assim como suas interdependências (links) de órgãos e princípios necessários para o desenvolvimento da bioeconomia circular urbana, em um modelo de rede de códigos ilustrada na Fig. 4.5.

Fig. 4.5 - Visão de rede dos 18 códigos propostos integrando suas inter-relações.



As setas na cor verde representam que um determinado constructo é “parte de”; as setas na cor azul são “associados com”; as setas traças na cor roxa “princípio de” e as setas na cor cinza escuro “causa de”.

5. TRANSIÇÃO PARA UMA BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA – *INSIGHTS* A PARTIR DAS POLÍTICAS PÚBLICAS NACIONAIS

A pandemia do Covid-19 expôs múltiplas falhas estruturais, refletido nas desigualdades e reforçado por respostas políticas falhas em proteger os mais vulneráveis de seus impactos socioeconômicos (Stevano et al., 2021). A eclosão do Covid-19 evidenciou a imperatividade de sistemas adaptáveis e resilientes, habilitados a reagir diante de situações cercada de incertezas. No entanto, tal imperativo transcende o desenrolar específico da pandemia, pois o foco atual não reside no fato, mas sim na concepção de que novos choques inteiramente têm o potencial de emergir, eventualmente adotando formas distintas e desconhecidas (Viaggi & Zavalloni, 2021). Embora os ecossistemas urbanos à nível global tenham demonstrado que práticas coesas e oportunas a tais ameaças são possíveis como a implementação de *lockdowns*, medidas de distanciamento social e campanhas de vacinação para conter a disseminação da pandemia e proteger a saúde pública, a pandemia também expôs a fragilidade dos setores de saúde, econômico e político. Esses desafios incluem a multifuncionalidade, a avaliação sistêmica, a incompatibilidade de escala e a desigualdade dos serviços ecossistêmicos urbanos (Afrin et al., 2021; Buheji et al., 2020). Desafios persistentes de longa data como o saneamento básico, acesso à água potável e insegurança alimentar, configuram-se como questões transversais e afetam de maneira significativa uma vasta parcela da população mundial. Essa situação acarreta inúmeros impasses que envolvem a propagação de doenças, a contaminação dos recursos hídricos e a degradação do capital natural crítico (Michalak et al., 2023).

Em geral, os países constroem suas políticas de gestão pública com base nas diretrizes estabelecidas em suas políticas nacionais ligados às suas configurações institucionais, legais, políticas e econômicas (Wright et al., 2005). No entanto, assim como em grande parte dos países emergentes, no Brasil, os governos e instituições que desempenham um papel crucial no desenvolvimento das políticas públicas continuam passivas aos interesses do setor privado e dos interesses globais (Haggard, 2018; Ibn-Mohammed et al., 2021). A maior parte dos processos produtivos repousam sobre o sistema linear de materiais e fluxo de energia, caracterizados pela instância em que componentes, produtos ou materiais são descartados de forma prematura em que sua capacidade de criação de valor é subutilizada. Nesse cenário, os sistemas de produção tem se fundamentado nas ideias de evitar estoques físicos, aumentar a terceirização global da produção e alongar as cadeias de fornecimento. Essas características

somadas as dependências de recursos têm tornado as cadeias de suprimento vulneráveis a variações de demanda e fenômenos repentinos (Spash, 2020). O resultado desse modelo que antepõe o crescimento econômico à outrance é a negligência comum do reaproveitamento de recursos, não considerando a capacidade regenerativa do planeta e os impactos negativos provenientes dos processos produtivos (Blomsma & Brennan, 2017).

As transformações urbanas têm sido evidenciadas pela necessidade de serviços públicos eficientes, diversidade de identidades e valores, mudanças demográficas e a adoção de tecnologias dedicadas a promover essas práticas. O cumprimento dessas mudanças afetam não apenas a capacidade dos ecossistemas urbanos de se adaptarem às novas realidades, mas também a inovação na gestão pública, o engajamento cívico e a resiliência dos ecossistemas urbanos (Cavalcanti et al., 2020). A literatura estabelece que barreiras sociais e políticas podem surgir entre setores e escalas, como disputas entre agências estatais, tensões entre o planejamento e diferenças de prioridades entre gestores, de modo que a coordenação entre setores e diferentes níveis de governo torna-se uma questão multifacetada cercada por políticas fragmentadas (Ingold et al., 2018). Alguns desafios como falta de conhecimento técnico, restrições orçamentárias e o comportamento da sociedade se apresentam como obstáculos sistêmicos. No entanto, ao consideramos a perspectiva dos planejadores e formuladores de políticas públicas e as diferentes expectativas entre obrigações e responsabilidades conflitantes, recursos limitados, normas institucionais, assimetrias de poder e oportunidades variadas para tomada de decisão conjunta, é possível refletir a respeito de todos os desafios a se superar.

5.1 Características socioeconômicas dos ecossistemas urbanos brasileiros

No Brasil, os serviços ecossistêmicos à nível urbano enfrentam uma série de desafios como a rápida expansão urbana e a mudança no uso da terra. Além disso, a poluição e geração de resíduos urbanos, afetam a qualidade do ar, da água e do solo e a pobreza e desigualdade, criando vulnerabilidades socioecológicas para as populações de baixa renda que vivem em assentamentos informais ou favelas. Essas populações geralmente não têm acesso a serviços básicos, como saneamento, abastecimento de água, gestão de resíduos e espaços verdes. Apesar de o saneamento básico não ser tecnicamente considerado um serviço ecossistêmico, está relacionado a vários desses serviços e desempenha um papel fundamental na saúde e no bem-estar das populações urbanas (Raudsepp-Hearne et al., 2010). O saneamento básico refere-se às práticas e infraestruturas que visam garantir o abastecimento

de água potável, o tratamento adequado do esgoto e águas residuais e, o gerenciamento adequado de resíduos sólidos nas áreas urbanas. Por exemplo, o abastecimento de água potável depende de ecossistemas naturais, como fontes de água doce (rios, lagos, aquíferos) que precisam ser gerenciados de maneira sustentável. Além disso, o tratamento adequado de águas residuais é essencial para garantir a saúde pública, de modo que os ecossistemas aquáticos, como rios e lagos, podem ser impactados negativamente pela falta de tratamento de esgoto, afetando a qualidade da água e a biodiversidade local.

De acordo com a síntese do relatório de indicadores sociais, um terço dos brasileiros vivem em domicílios sem pelo menos um dos serviços de saneamento básico (IBGE, 2019). Além disso, em grande parte do território nacional, o acesso e a qualidade da gestão de resíduos é análogo aos países mais pobres em função das diversidades culturais e socioeconômicas (Azevedo et al., 2019). Historicamente, o descarte irregular é uma prática comum por uma série de razões, que vão desde evitar taxas e falta de infraestrutura de transporte para locais apropriados até a falta de alternativas viáveis (Marshall & Farahbakhsh, 2013). Nesse sentido, cerca de 80 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos são descartadas de forma inadequada em aterros controlados e lixões a céu aberto todos os dias, correspondendo a mais de 40% do total de resíduos coletados (Abrelpe, 2022). As regiões mais pobres e periféricas dos grandes centros urbanos são as mais afetadas pela falta de acesso a serviços básicos. A falta de saneamento aumentam o risco de doenças transmitidas pela água e pelo esgoto e a falta de acesso a serviços básicos pode afetar a qualidade de vida, tornando mais difícil o acesso a empregos, educação e outras oportunidades além de aumenta sua exposição a riscos, como enchentes e deslizamentos de terra (Cherol et al., 2023).

Os governos locais têm a responsabilidade de gerenciar os resíduos tanto em espaços públicos quanto privados. No entanto, a coleta, sanitização e recuperação desses resíduos implicam em altos encargos. Em meio à disposição inadequada, é comum que governos locais em países emergentes como o Brasil gastem até metade de seu orçamento com a gestão de resíduos, o que reflete diretamente na escassez de recursos em outros setores (Undesa, 2020). Adicionalmente a essas despesas, de acordo com dados da *International Solid Waste Association*, o Brasil gasta cerca de US\$ 1 bilhão anualmente com o sistema de saúde pública devido a doenças causadas direta ou indiretamente pela disposição incorreta de resíduos, afetando aproximadamente 77,65 milhões de pessoas (Abrelpe, 2022). Com base nos dados

do Programa Nacional Lixão Zero, em 2020, o Brasil possuía 2.707 lixões ativos, e esse número foi reduzido para 2.652 em 2021, representando uma diminuição de 17% (Ministério do Meio Ambiente, 2021). Apesar desses números serem significativos em relação ao histórico de disposição inadequada do país, caso essa tendência continue, ainda seriam necessários mais de 55 anos para a completa erradicação dos lixões.

Além disso, embora o descarte irregular e a erradicação dos lixões sejam as questões mais evidentes, as taxas de reciclagem no país representam um fator ainda crítico. A reciclagem nacional abrange apenas cerca de 4% do total de resíduos produzidos (Selurb, 2022). Essa taxa de recuperação de resíduos urbanos é muito inferior à de nações com níveis de renda e crescimento econômico comparáveis, como Chile, Argentina, África do Sul e Turquia, cujas taxas de reciclagem alcançam em média 16% dos resíduos coletados. Em comparação com países desenvolvidos, o caminho a ser percorrido é ainda mais longo. Na Alemanha, por exemplo, a taxa de recuperação é de 67% em relação ao total de resíduos coletados (ISWA, 2021). É importante ressaltar que à nível nacional existem poucos dados atualizados disponíveis apesar da gestão inadequada dos biorresíduos urbano ser uma questão recorrente. Isso gera um impacto direto na falta de consistência no desenvolvimento dos programas de gestão em nível local (Callegari et al., 2018; Ribeiro et al., 2022; Zago & Barros, 2019). No entanto, apesar da falta de dados, é amplamente reconhecido que o descarte inadequado de milhões de toneladas de biorresíduos em aterros e lixões a céu aberto constitui um grande problema a ser superado. Estima-se que anualmente o Brasil produza cerca de 37 milhões de toneladas de biorresíduos, sendo que apenas 1% desse total é recuperado (Dal'Magro & Talamini, 2019).

Nesse cenário caótico, a soma de um conjunto de práticas insustentáveis à crescente demanda por infraestrutura e habitação, tem levado à supressão de ecossistemas naturais, como florestas, rios, manguezais e áreas úmidas, que desempenham papéis essenciais na provisão dos serviços ecossistêmicos. A região Amazônica, por exemplo, reconhecida por sua notável diversidade, tanto em termos biológicos quanto culturais, tem passado por um processo de urbanização crescente, o qual acarreta a falta de serviços de saneamento básico. Apesar da imensidão da maior floresta tropical do planeta, várias regiões amazônicas são essencialmente urbanas e insustentáveis. O Estado do Amazonas, em particular, apresenta um cenário desanimador em termos de acessibilidade a certos serviços essenciais. Em 2018, embora 80% da população urbana tivesse acesso à água tratada, apenas 10% contavam com

rede de esgoto. No mesmo período, a coleta de resíduos sólidos abrangia apenas 63% de toda a população, e a prática de separação de materiais recicláveis na fonte estava disponível em apenas 11% dos municípios. Aproximadamente 86% dos municípios amazônicos ainda recorriam ao descarte de seus resíduos em aterros a céu aberto (Paes et al., 2021). Embora a "bioeconomia amazônica" tenha recebido uma atenção especial e seja considerada um impulsionador do desenvolvimento socioeconômico na região, é importante ressaltar que a visão de biorrecursos para o desenvolvimento da bioeconomia muitas vezes carece de uma preocupação adequada com o impacto das mudanças no uso da terra. Isso acaba gerando uma ameaça, uma vez que a produção de biomassa pode resultar na perda da biodiversidade nativa (Leme Lopes & Chiavari, 2022). Atrair capital internacional para explorar a biodiversidade amazônica implicaria novas infraestruturas dentro das florestas amazônicas, bem como novos direitos de propriedade e ambientes institucionais e o ponto de venda desse projeto está claramente dirigido a tomadores de decisão poderosos dentro da chamada tendência do capitalismo natural (Ollinaho & Kröger, 2023).

A ausência de políticas e práticas adequadas de planejamento urbano, que incorporem a conservação e o uso sustentável do capital natural somados a ausência de acesso equitativo aos serviços ecossistêmicos é uma grande preocupação, especialmente considerando as disparidades significativas entre as estratégias adotadas em diferentes regiões do país (Pimentel, 2022). A gestão de resíduos urbanos, diz respeito ao processo de coleta, transporte, tratamento e descarte de resíduos sólidos gerados por atividades urbanas, como residências, empresas, indústrias e instituições, sendo uma prática essencial para manter a saúde pública, a qualidade ambiental e o desenvolvimento econômico (Bernstein, 2004). De maneira geral, a gestão urbana de resíduos sólidos consiste em uma hierarquia de atividades, incluindo coleta, transferência, recuperação de recursos, reciclagem e tratamento ou destinação dos resíduos. No entanto, os modelos adotados por cada município são baseados nos objetivos delineados em seus planos locais. Alguns modelos têm como foco principal a minimização de custos, enquanto outros incorporam metas socioecológicas, como a recuperação de energia. Além disso, alguns modelos com maior maturidade se concentram no conceito de desenvolvimento sustentável, buscando proteger a saúde e a qualidade dos ecossistemas (Rebehy et al., 2023).

Em meio a essas variáveis, é essencial considerar que o destino final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é caracterizado por uma acentuada dicotomia. Por um lado, menos

de um décimo dos municípios, aqueles com mais de 100 mil habitantes (317 municípios), abrigam 63% da população nacional, o que corresponde a cerca de 133,6 milhões de pessoas. Além disso, as regiões metropolitanas com população acima de 500 mil habitantes (46 regiões) são responsáveis por abrigar aproximadamente 31,7% da população total do país, correspondendo a cerca de 66,5 milhões de pessoas (IBGE, 2021). Assim, as políticas habitacionais pouco efetivas, aliadas às questões socioeconômicas, têm levado a uma urbanização desordenada. Esse tipo de ocupação, juntamente com a geração de grandes volumes de resíduos, torna a coleta um desafio, especialmente devido à falta de infraestrutura, dificuldades de acesso às áreas periféricas e principalmente por questões culturais (Azevedo et al., 2019; Cetrulo et al., 2018). Por outro lado, nove em cada dez municípios brasileiros têm populações inferiores a 50 mil habitantes. Isso implica em restrições orçamentárias para os governos locais, dificultando a gestão eficaz dos aterros existentes e a realização de novos investimentos em infraestrutura. De acordo com o Banco Mundial, há uma relação causal em que a diminuição do tamanho do aterro sanitário está associada a um aumento nos custos operacionais. O custo de um pequeno aterro sanitário pode ser mais que o dobro do custo de um aterro de grande capacidade (World Bank, 2018). No que diz respeito às iniciativas de reciclagem e tratamento de resíduos, as regiões Sul e Sudeste se destacam como as únicas que conseguiram estabelecer um tratamento minimamente adequado por meio da utilização dos aterros sanitários. Nos estados que compõem essas regiões, há um progresso na implementação da coleta seletiva e da reciclagem, contando com a participação ativa de cooperativas e associações de catadores. No entanto, de modo geral, a prática de triagem e recuperação dos resíduos sólidos urbanos ainda não está estabelecida na maioria das cidades. Isso ocorre devido à complexidade das composições dos resíduos, que misturam componentes biológicos e técnicos, tornando o processo de separação uma tarefa mais árdua (Abrelpe, 2022).

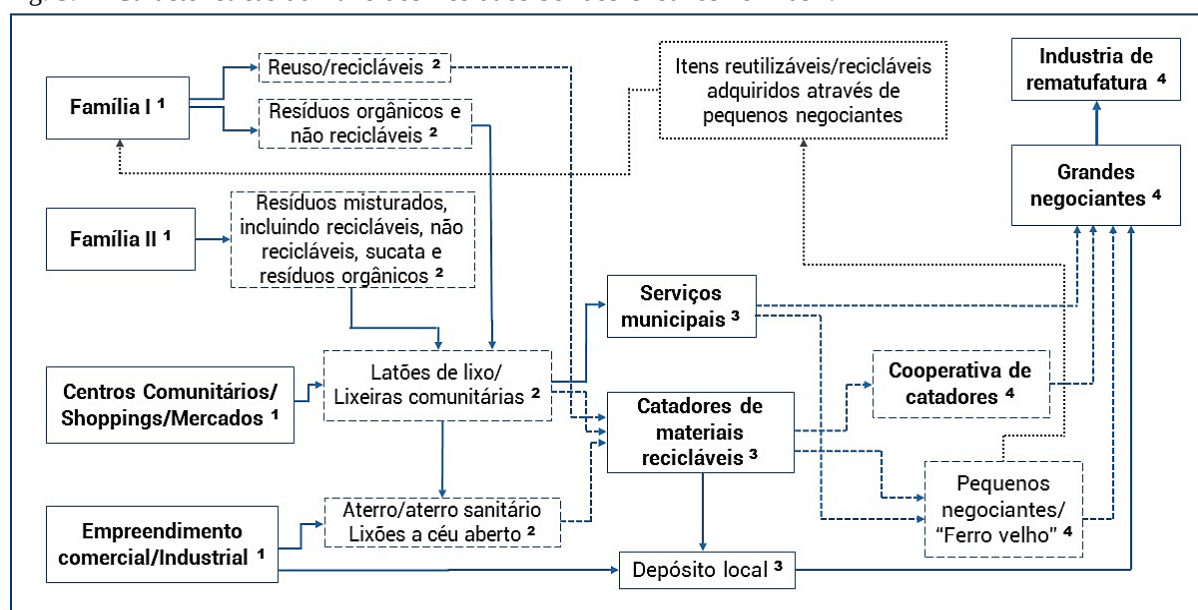
As atividades de coleta de materiais recicláveis podem ser classificadas em três tipos principais: (i) atividades desorganizadas ou autônomas, em que os coletores realizam a classificação e recuperação de materiais recicláveis de forma não estruturada, atuando individualmente em lixões ou nas ruas; (ii) atividades organizadas por meio de associações e cooperativas, em que os coletores se unem para melhorar eficiência e condições de trabalho, promovendo a coleta seletiva de materiais recicláveis em parceria com o setor público municipal, podendo receber apoio técnico e financeiro para aprimorar suas atividades; (iii) atividades com contratos específicos, em que os coletores possuem contratos

de trabalho voltados para a coleta, classificação e fornecimento de materiais recicláveis, atuando principalmente em pátios de sucata, indústrias metalúrgicas ou outras indústrias que demandam esses materiais. Nesse cenário, existe uma correlação negativa entre a quantidade de resíduos gerados por habitante e a adesão à coleta seletiva, possivelmente devido à baixa frequência da coleta seletiva somado a outros fatores desmotivadores (Zolnikov et al., 2018). A falta de um sistema de coleta seletiva bem definida no âmbito local impacta diretamente a fase de recolhimento de resíduos, resultando no aumento do volume total de resíduos coletados de maneira indiscriminada. Entretanto, a presença de catadores independentes que separam materiais de maior valor dos fluxos de reciclagem acaba tendo um efeito negativo nessa etapa. Assim, a implementação somente da coleta seletiva pode não ser o suficiente para obter resultados significativos. A gestão integrada de resíduos desempenha um papel importante nessa etapa, pois a quantidade de resíduos coletados por diferentes agentes apresenta uma relação negativa quando considerados isoladamente. A etapa de triagem é beneficiada pela presença de catadores organizados em cooperativas, o que influencia positivamente a qualidade da triagem e a quantidade de materiais recuperados. Quanto à destinação final dos resíduos, existe uma relação negativa quando há o envio de resíduos para outros municípios, o que é mais comum em localidades com infraestrutura limitada ou devido a políticas que direcionam volumes significativos para aterros sanitários (Gallardo et al., 2017; Rebehy et al., 2023).

Os mecanismos financeiros e de governança desempenham um papel crucial no aumento das arrecadações, o que impacta positivamente na gestão de resíduos, sendo essencial estabelecer um mecanismo de financiamento autossustentável. A prestação do serviço de abastecimento está relacionada à organização institucional dos municípios, e os custos associados à coleta de resíduos podem representar um fator negativo nos custos totais, indicando possíveis lacunas em outros investimentos dos governos locais, como programas de educação e conscientização socioecológica. Além disso, o tamanho do município apresenta uma correlação negativa com a taxa de arrecadação, uma vez que municípios maiores enfrentam desafios adicionais na implementação eficiente da coleta seletiva (Srivastava, 2023). O paradoxo do gerenciamento de resíduos no cenário nacional envolve duas relações conflitantes. A primeira refere-se à relação entre o tamanho do aterro e os custos operacionais. A redução do tamanho do aterro está associada a um aumento nos custos operacionais, uma vez que os aterros maiores se beneficiam das economias de escala, permitindo uma distribuição mais eficiente dos custos fixos. Além disso, os aterros menores

enfrentam regulamentações ambientais mais rigorosas e têm menos oportunidades de diversificar suas operações para gerar receitas adicionais. A segunda relação conflitante está relacionada ao tamanho do município e à taxa de coleta. Embora os municípios maiores tenham mais recursos e infraestrutura, eles enfrentam desafios na implementação eficiente da coleta seletiva, devido ao maior número de pontos de coleta, distâncias de viagem mais longas e diversidade demográfica e cultural. O fluxo de material no sistema de coleta, comercialização de resíduos e o envolvimento de diferentes atores são descritos e detalhado na Fig. 5.1

Fig. 5.1 - Características do fluxo dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.

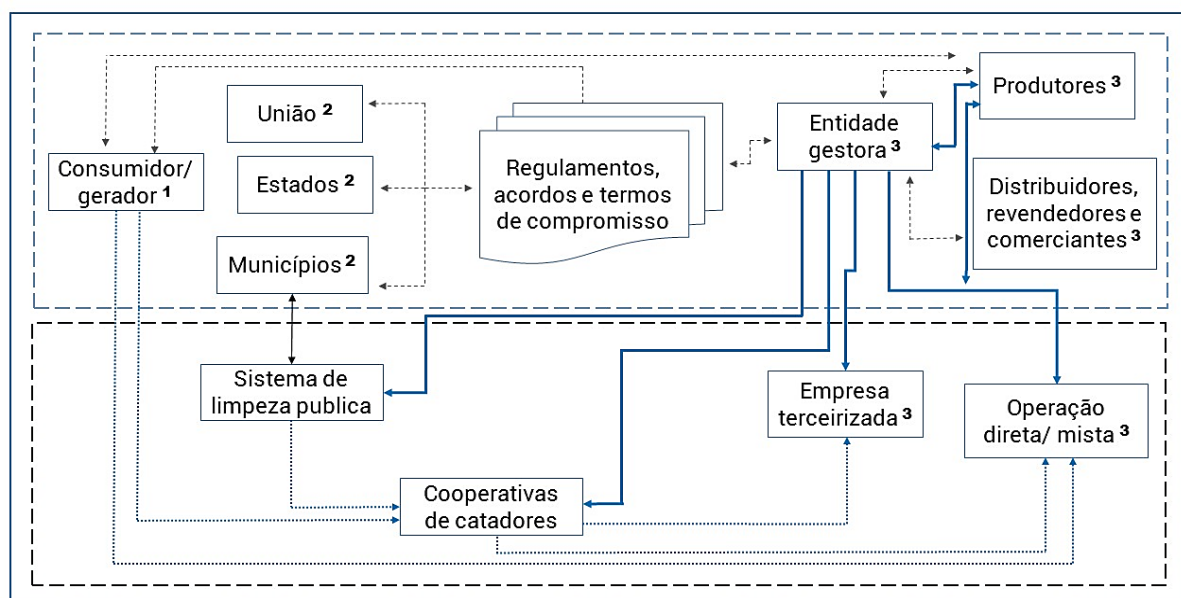


¹ Origem; ² Tipos de resíduos e pontos de descarte; ³ Método de coleta para reuso ou reciclagem; ⁴ Manuseio e processamento dos resíduos.

Embora a gestão dos resíduos urbanos seja responsabilidade dos setores públicos, que desempenham um papel direto na coleta seletiva e na formulação de políticas relacionadas à gestão adequada dos resíduos, a participação ativa da sociedade é o elemento fundamental nesse processo. A participação da sociedade refere-se ao envolvimento dos cidadãos na tomada de decisões, implementação, monitoramento e avaliação de políticas e programas de gestão de resíduos e pode trazer diversos benefícios significativos (World Bank, 2018). Ao incentivar a participação da sociedade, é possível promover a conscientização sobre a importância da gestão adequada dos resíduos, a necessidade de reduzir, reutilizar e reciclar, bem como a implementação de práticas sustentáveis em todos os níveis da sociedade. Além disso, uma abordagem integrada também envolve a criação de políticas e regulamentos eficazes, a implementação de infraestruturas adequadas, o fornecimento de capacitação e educação ambiental, e a promoção de parcerias entre diferentes atores e partes interessadas

para impulsionar soluções sustentáveis (Romero-Lankao et al., 2017). O modelo de regulamentação por meio de Acordos Setoriais, Termos de Compromisso ou Regulamentos é representado no fluxograma na Fig. 5.2

Fig. 5.2 - Fluxograma dos principais atores na gestão de resíduos Sólidos urbanos no Brasil.



□ Operação □ Gestão → Fluxo de recursos financeiros - - - - - Fluxo de informação Fluxo de resíduos

¹ Sociedade; ² Poder Público; ³ Setor privado.

5.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos sob a perspectiva da Economia Circular

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 2010 pela Lei nº 12.305, com o objetivo de promover a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, por meio da responsabilidade compartilhada entre o poder público, a indústria, o comércio, o setor de serviços e a sociedade. A PNRS estabelece princípios, objetivos e instrumentos para o gerenciamento de resíduos sólidos, tais como a prevenção e precaução, a responsabilidade compartilhada, o poluidor-pagador e a gestão integrada. Seus objetivos incluem a redução da quantidade de resíduos sólidos gerados, a destinação adequada, a inclusão social dos catadores, a promoção da educação ambiental e conscientização da população. A PNRS também prevê instrumentos como planos de resíduos sólidos, logística reversa e instrumentos econômicos (Brasil, 2010). Além disso, a PNRS visa mostrar que as autoridades públicas fizeram da sustentabilidade ecológica uma prioridade, com a gestão de resíduos sólidos na vanguarda de seus esforços.

A literatura tem discutido algumas características e desenvolvido alternativas para o gerenciamento de resíduos urbanos, ao mesmo tempo em que relatou os desafios da

implementação da PNRS e a falta de apoio de várias esferas governamentais (Cosenza et al., 2020; Deus et al., 2017; Xavier et al., 2023). No entanto, a gestão de resíduos sólidos é uma questão obscura devido aos muitos atores e tomadores de decisão envolvidos, seus variados pontos de vista e os objetivos concorrentes que devem ser levados em conta. Além disso, apesar de o acordo setorial da PNRS exigir cooperação entre os tomadores de decisão para realizar todo o potencial da gestão de resíduos sólidos do Brasil, os atores envolvidos expressaram insatisfação com os resultados em relação às suas respectivas funções. Como resultado, circunstâncias conflitantes se desenvolvem e o acordo setorial recebe um fraco engajamento, o que aumenta significativamente as desigualdades socioambientais (Silva & Fontana, 2021).

À nível global, os princípios da Economia Circular aplicados às cadeias de suprimentos para reduzir a geração de resíduos e suas tentativas de reutilizar, reparar e reciclar aqueles que não podem ser evitados, foram amplamente aceitos os princípios de circularidade apresenta-se como uma alternativa viável pela introdução de novos princípios de produção, consumo e descarte (Blomsma & Brennan, 2017). Os discursos e pensamentos convergentes entre os setores institucionais e públicos, tem oferecido oportunidades em direção a um certo consenso de ideias para os processos de produção e gestão, representando um marco importante em direção à sustentabilidade e para o gerenciamento das cadeias de suprimentos (Giampietro & Funtowicz, 2020). A desaceleração dos *loops* é uma vantagem competitiva para as organizações em uma tentativa de mitigar os impactos ambientais e explorar oportunidades econômicas (Bocken et al., 2016). No entanto, seus princípios precisam ser apoiado por evidências empíricas para dar uma contribuição real para a criação de valores socioeconômicos para a sociedade (Goltsos et al., 2018).

Diferente de grande parte dos países desenvolvidos, o Brasil ainda não possui uma legislação específica que se baseie estritamente nos princípios da Economia Circular (Chiappetta Jabbour et al., 2020). No entanto, alguns elementos fundamentais da narrativa podem ser identificados na PNRS ao estabelecer cinco pontos chave: (i) Efetuar uma avaliação do ciclo de vida que considere todas as etapas de produção de seu projeto, matérias-primas, produção, armazenamento, reciclagem e disposição final; (ii) logística reversa, com a obrigação das empresas de estabelecer retorno pós-consumidor sistemas, independentes dos serviços públicos de coleta de resíduos; (iii) as embalagens devem facilitar a reutilização e a reciclagem, restringindo volume e peso; (iv) responsabilidade compartilhada pós-

consumo entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores; (v) criação e desenvolvimento de cooperativas e associações de trabalhadores em materiais recicláveis como parte dos processos de logística reversa e inclusão social.

5.2.1 *Hierarquia de resíduos*

O princípio da hierarquia de resíduos tem origem na priorização da redução, reciclagem e reutilização de resíduos em detrimento do tratamento ou descarte, tendo sido iniciado no setor privado americano (Pires & Martinho, 2019). Em 1975, a Diretiva-Quadro de Resíduos da União Europeia (1975/442/EEC) introduziu pela primeira vez os elementos do conceito de hierarquia de resíduos na política europeia, enfatizando a importância da minimização de resíduos e a proteção do meio ambiente e da saúde humana como prioridade (Council of the European Union, 1975). O princípio da hierarquia de resíduos foi incluído na Diretiva-Quadro de Resíduos 2008/98/EC do conselho do parlamento europeu e posteriormente transposto para o direito nacional dos Estados-Membros da União Europeia (European Parliament and of the Council, 2008). A Diretiva-Quadro de Resíduos europeia define a hierarquia dos resíduos como a ordem prioritária das operações a seguir na gestão dos resíduos. Em 2015, a estratégia de Economia Circular da União Europeia defendeu a posição da hierarquia de resíduos como meio de obter o melhor resultado ecológico em nível global (European Commission, 2015).

A definição de "hierarquia de desperdício zero" descreve uma hierarquia de estratégias e iniciativas para manter o programa de desperdício zero, desde os usos de recursos mais desejáveis até os menos preferidos. Estruturado de forma que pode ser aplicado a qualquer ator, desde legisladores a empresas e pessoas comuns. Seu objetivo é fornecer uma visão mais profunda dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). A hierarquia de desperdício zero também promove a formulação de políticas, aplicação e arrecadação de fundos ou gastos no auge da hierarquia e oferece conselhos para aqueles que desejam adotar processos de descarte de resíduos ou fabricar produtos que os aproximem o máximo possível do desperdício zero. Ele também oferece maneiras e métodos para criar estratégias e avaliar recursos (S. Singh & Hussain, 2021).

A hierarquia de resíduos no Brasil, assim como nas definições das diretivas da comissão europeia, consiste na identificação das estratégias básicas e de suas respectivas importâncias para o sequenciamento de resíduos. A PNRS, considera a hierarquia a ser

seguida na gestão de resíduos sólidos, que prioriza a seguinte ordem: a não geração, redução, reaproveitamento, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e destinação final ecologicamente sustentável de resíduos (Brasil, 2010, art. 9º). A Fig. 5.3 ilustra a comparação entre a hierarquia de prioridades para uma gestão sustentável de resíduos sólidos, de acordo com os princípios do resíduo zero e a hierarquia estabelecida na política

Fig. 5.3 - Comparação entre a Política nacional de Resíduos Sólidos e a Hierarquia de zero resíduos da Economia Circular.



nacional de resíduos sólidos.

** A estrutura da hierarquia de resíduos zero alinhada com os princípios da economia circular difere da hierarquia de resíduos da União Europeia em os níveis superior (recusar, repensar, redesenhar) e inferior (inaceitável), mantendo assim o nível intermediário de planejamento de reutilização e reciclagem).*

5.2.2 Logística Reserva

A logística reversa é um fator chave para todos os segmentos da sociedade e desempenha um papel especial para promover os valores da Economia Circular (Govindan, 2018). Seus princípios apresentam a capacidade de monitorar fluxos circulares de produtos, vincular mercados e tornar a cadeia de suprimentos mais bem compreendidas. Como resultado, as empresas de logística, principalmente com ampla infraestrutura e experiência

são os principais facilitadores para acelerar o desenvolvimento da Economia Circular. A logística reversa é um passo significativo para capturar o valor dos produtos em fim de vida e permite a reutilização e a reciclagem com base em modelos circulares. Isso inclui diferentes tipos de atividades de valor agregado, como melhorar a transparência na demanda de mercadorias devolvidas e mercados secundários associados, estabelecer logística integrada, aumentar a resiliência da cadeia de suprimentos e fortalecer e ampliar a abordagem circular do negócio para otimizar as oportunidades econômicas. A PNRS define logística reversa como um *“instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a possibilitar a coleta e devolução de resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos. Destinação final produtiva ou outra ambientalmente adequada”* (Brasil, 2010, art. 3º, inciso XII).

É importante ressaltar que a PNRS estabelece a obrigatoriedade da logística reversa para diversos tipos de resíduos como, agrotóxicos e seus resíduos e embalagens, baterias, pneus, óleos lubrificantes e seus resíduos e embalagens, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e de mercúrio e lâmpadas mistas, e produtos eletrônicos e seus componentes. Além disso, os sistemas de logística reversa devem ser incorporados e operados por meio de acordos setoriais (contratos firmados entre governo e fabricantes, importadores, revendedores ou comerciantes), regulamentos emitidos pelo governo ou termos de compromisso (Brasil, 2010, art. 15). A PNRS também define que fornecedores, importadores, revendedores e varejistas são responsáveis por estruturar e aplicar os esquemas de logística reversa para esses resíduos (Brasil, 2010, art. 33).

5.2.3 Responsabilidade compartilhada

A responsabilidade coletiva pressupõe que as partes interessadas se situem em contextos particulares, nos quais suas responsabilidades individualistas, atribuídas por normas e comportamentos formais e informais, moldando suas posições. Ao mesmo tempo, indica que essas partes interessadas se envolvem espontaneamente em relação a várias questões e obrigações contextuais compartilhadas entre si (Machin, 2012). As responsabilidades compartilhadas, especialmente nas questões ecológicas, são essenciais para as políticas públicas. No entanto, essas responsabilidades costumam ser obrigatória devido a transtornos culturais, e a sociedade não está disposta a exercer essa responsabilidade compartilhada e cumprir seu papel de cidadão (Savini & Giezen, 2020). Além das

responsabilidades comuns, a Economia Circular sugere como uma economia compartilhada de produtos e serviços, reduzindo a extração de matérias-primas primárias e a produção de resíduos e dividindo os custos agregados. As atividades de compartilhamento podem inspirar mudanças de longo prazo no comportamento do consumidor, mudar escolhas pessoais e promover o desenvolvimento sustentável (Chiappetta Jabbour et al., 2020).

A PNRS promove o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto segundo o qual as partes interessadas, ou seja, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes e consumidores são responsáveis por reunir e apoiar a destinação adequada de produtos. É importante que as autoridades públicas e os consumidores sejam responsáveis pelo uso e disposição eficazes dos resíduos sólidos. Nesse sentido, por meio de tarefas específicas e inter-relacionadas, cabe ao consumidor a responsabilidade pela compra consciente e destinação correta dos resíduos, cabendo à iniciativa privada a responsabilidade de incorporar os resíduos à cadeia produtiva e inovar em produtos de forma a obter benefícios socioambientais (Brasil, 2010, art. 33). A PNRS também delimita as atribuições, especificando as responsabilidades para sua implementação e operação, incluindo as fases do Plano de Gerenciamento de Resíduos executado pelo poder público, traçando as formas e limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitando a requisitos de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (Brasil, 2010, art. 20).

Um conceito importante relacionado à responsabilidade compartilhada é a Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR). A EPR é uma abordagem regulatória que visa incentivar a indústria a assumir a responsabilidade pela gestão dos resíduos gerados por seus produtos ao longo de todo o ciclo de vida (Walls, 2006). Essa abordagem promove a Economia Circular, mantendo os recursos em uso durante o maior tempo possível. A EPR pode contribuir para o desenvolvimento de práticas circulares de várias maneiras. Em primeiro lugar, ao responsabilizar os produtores pelo desempenho socioecológico de seus produtos, a EPR pode incentivar o *design* de produtos mais sustentáveis. Isso significa que os produtores podem ser encorajados a criar produtos duráveis, reparáveis, reutilizáveis, recicláveis e com menor impacto ecológico, como emissões de gases de efeito estufa, esgotamento de recursos naturais e poluição. Em segundo lugar, a EPR pode fornecer apoio financeiro e incentivos para sistemas de coleta e reciclagem. Isso pode aumentar a quantidade e a qualidade dos resíduos recuperados e reintroduzidos no ciclo de produção. Ao criar e

desenvolver esses sistemas eficientes de coleta e recuperação, a EPR contribui para a criação de novos mercados e oportunidades para matérias-primas secundárias. Isso reduz a dependência de recursos escassos ou críticos e incentiva a utilização de materiais reciclados em vez do capital natural virgem (Compagnoni, 2022).

De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), existem três tipos principais de instrumentos que podem ser usados para implementar políticas de EPR. O primeiro diz respeito aos instrumentos regulatórios que impõem obrigações legais aos produtores para que eles recebam seus produtos de volta ou cumpram determinadas metas de reciclagem ou recuperação. O segundo são os instrumentos econômicos, que oferecem incentivos ou desincentivos financeiros para que os produtores reduzam os impactos ambientais de seus produtos, como taxas, impostos, subsídios ou licenças negociáveis. Por fim, o terceiro são os instrumentos informativos que têm como objetivo aumentar a conscientização e o conhecimento dos produtores e consumidores sobre as características ambientais dos produtos, como rotulagem, relatórios ou campanhas educativas. O escopo dos produtos cobertos pelas políticas de EPR também pode variar de acordo com os objetivos e as prioridades de cada país ou região. Algumas políticas de EPR se concentram em categorias específicas de produtos que têm alto impacto ecológico ou alto potencial de reciclagem ou reutilização, como eletrônicos, embalagens, baterias ou veículos. Outras políticas de EPR adotam uma abordagem mais abrangente e cobrem uma gama mais ampla de produtos que geram resíduos ou consomem recursos, como todos os bens de consumo (OECD, 2016).

Um dos principais desafios da implementação de políticas de EPR é escolher o tipo de instrumento, o escopo dos produtos e o nível de envolvimento do produtor mais adequados para alcançar esses os resultados desejados (Kunz et al., 2018). A definição do escopo do produto na implementação de políticas pode influenciar a complexidade, viabilidade e distribuição de custos e benefícios entre os envolvidos. O nível de envolvimento dos produtores também pode variar dependendo do grau de responsabilidade e flexibilidade que possuem para cumprir suas obrigações. Algumas políticas de EPR exigem que os produtores sejam responsáveis pela coleta e gerenciamento físico de seus produtos no final de sua vida útil. Isso pode ser feito de forma individual ou coletiva, através de Organizações de Responsabilidade do Produtor. Outras políticas permitem que os produtores deleguem essa responsabilidade a terceiros ou paguem uma taxa para um esquema coletivo que cubra os

custos de gerenciamento de resíduos. Além disso, algumas políticas de EPR estabelecem padrões ou metas mínimas para os produtores atingirem em termos de taxas de reciclagem ou recuperação, enquanto outras oferecem maior flexibilidade aos produtores para escolherem como cumprir suas obrigações, levando em consideração as condições de mercado e os indicadores de desempenho socioecológico (Maitre-Ekern, 2021).

5.3 Barreiras para a adoção da gestão de resíduos sob uma perspectiva circular

A adoção do gerenciamento de resíduos sólidos por meio de princípios de redução, reutilização, reciclagem e recuperação de energia, é uma abordagem fundamental para enfrentar desafios e alcançar uma economia mais sustentável. No entanto, existem diversas barreiras para a adoção desse tipo de gestão. O histórico de gestão inadequada de resíduos sólidos sugere um passivo ecológico que causa efeitos no bem-estar devido à poluição da terra, do ar e das águas subterrâneas. Lima et al. (2018) descrevem que mesmo após o estabelecimento de uma política específica para gestão de resíduos sólidos, as barreiras políticas, lacunas institucionais e resistência entre as partes interessadas são comuns. As barreiras podem ser classificadas como internas e externas e em certas situações pode ser uma tarefa complexa decidir o que é uma barreira interna e uma barreira externa. Por exemplo, quando o objeto de análise é um país, os componentes macroambientais que seriam barreiras externas para uma organização tornam-se uma barreira inteira (Helms & Nixon, 2010).

5.3.1 Barreiras inteiras

Algumas das barreiras internas que impedem a gestão de resíduos sólidos no Brasil são a falta de técnicas e tecnologias dedicadas, a falta de aplicação e responsabilidade das políticas e a insuficiência de conscientização e conhecimento (Masrom et al., 2018). A falta de técnicas e tecnologias refere-se a infraestrutura e métodos inadequados ou obsoletos para coleta, transporte, tratamento e descarte. A falta de aplicação de políticas e de responsabilidade envolve a não implementação ou a ausência de regras, padrões, incentivos e penalidades para a gestão de resíduos sólidos por parte dos atores chaves (Deus et al., 2022). A falta de conscientização e conhecimento está relacionada ao baixo nível de educação, treinamento e informação entre a equipe e os gerentes envolvidos nas operações de gestão de resíduos sólidos. Essas barreiras internas podem comprometer a eficiência, a eficácia e a sustentabilidade dos sistemas de gestão de resíduos (World bank, 2022). As Tab.

5.1; Tab. 5.2; Tab. 5.3 e 5.4 detalham as dimensões das barreiras internas para as categorias "tecnologia", "Infraestrutura", "financeiro" e "organizacional" respectivamente para o atual cenário da gestão de resíduos sob uma perspectiva circular.

Tab. 5.1 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Tecnologia"

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Falta de dados e informações para a cadeia de suprimentos	Inovação limitada: Os dados são essenciais para impulsionar a inovação na cadeia de suprimentos. Sem acesso a esses recursos, os parceiros da cadeia de suprimentos podem estar menos propensos a adotar práticas e processos de inovação. Efeito Chicote: As pequenas flutuações na demanda do consumidor final podem resultar em flutuações ampliadas no fornecimento ao longo da cadeia de suprimentos. Essas flutuações aumentam à medida que a informação sobre a demanda é transmitida entre os elos da cadeia, criando ineficiência e desperdício. Esse efeito ocorre devido a vários fatores, como atrasos na transmissão de informações, incerteza na demanda e comportamento reativo por parte dos atores da cadeia de suprimentos. Aumento dos custos: Quando os dados são imprecisos, incompletos ou inconsistentes, as decisões a partir desses dados podem ser falhas. Informações equivocadas levam a estratégias inadequadas, má alocação de recursos e ações pouco orientadas. Isso resulta em ineficiências operacionais, desperdício de recursos e tempo. A falta de qualidade nos dados também pode impactar a eficácia da logística da cadeia de suprimentos. Sem informações precisas e atualizadas, pode haver dificuldades em rastrear e gerenciar o fluxo de materiais, resultando em atrasos, perdas e custos adicionais. Incapacidade de responder às necessidades dos parceiros da cadeia de suprimentos: A falta de agilidade na transferência de dados leva a atrasos na comunicação e na tomada de decisões. A falta na transferência de dados também pode dificultar a colaboração e a coordenação entre os parceiros da cadeia de suprimentos. Quando as informações demoram a ser compartilhadas ou são incompletas, os elos da cadeia podem não ter visibilidade suficiente para tomar decisões alinhadas e sincronizar suas atividades. Isso pode levar a desequilíbrios na oferta e demanda, atrasos na produção, problemas de estoque e insatisfação por parte dos parceiros da cadeia de suprimento.
Falta de um conjunto de indicadores eficiente que auxilie a medição de desempenho	Medir o progresso: A ausência de um conjunto de indicadores específicos e validados para mensurar o desempenho apresentam desafios para monitorar o progresso em relação às suas metas. Isso resulta na dificuldade de determinar se os processos implementados estão se desenvolvendo ou não. Incapacidade de identificar áreas de melhoria: Um conjunto eficiente de indicadores fornece <i>insights</i> sobre as áreas em que necessitam melhorias. Sem esses indicadores, pode ser difícil identificar áreas em que são necessárias melhorias, o que pode levar a ineficiências, tomada de decisões precipitadas e oportunidades perdidas. Alocação inadequada de recursos: A falta de dados precisos e relevantes para tomar decisões informadas dificulta a alocação eficaz de recursos, resultando em desperdício. É fundamental contar com indicadores que forneçam informações confiáveis. Transparência limitada: Sem esses indicadores eficientes é improvável uma compreensão do desempenho, o que leva a uma responsabilidade e confiança limitadas. Benchmarking: Um conjunto eficiente de indicadores facilita o <i>benchmarking</i> de desempenho. Sem esses indicadores, pode ser difícil identificar as melhores práticas e as áreas que precisam ser melhoradas comparados a outros <i>benchmarks</i>.
Falta de conhecimento técnico para apoiar as práticas de logística reversa	Aumento do impacto ecológico: O processo de tomada de decisão requer conhecimento especializado. Isso inclui a compreensão dos diferentes tipos de resíduos, suas características, impactos socioecológicos e opções de tratamento adequadas. Redução da eficiência: O conhecimento técnico é essencial para o desenvolvimento e a implementação de práticas eficientes. Sem esse conhecimento, os processos de gerenciamento de resíduos podem ser lentos, resultando em aumento de custos. Aumento dos custos: As práticas ineficientes podem ser custosas, tanto em termos de tempo, financeiros e socioecológico. Isso pode ser especialmente verdadeiro nos casos em que os resíduos precisam ser transportados por longas distâncias ou processados com o uso de infraestrutura especializadas e de cuidados especiais. Riscos à saúde e à segurança: A forma inadequada de disposição final e coleta podem representar riscos à saúde e à segurança. Sem conhecimento técnico, pode ser difícil

	identificar e mitigar esses riscos, colocando a sociedade e as demais partes interessadas em risco de lesões ou doenças. Problemas de conformidade legal: O gerenciamento de resíduos é altamente regulamentado e o não cumprimento das normas pode resultar em multas e ações judiciais. O conhecimento técnico é essencial para entender e cumprir essas regulamentações, reduzindo o risco de problemas legais.
Falta de infraestrutura tecnológica	Capacidade limitada de coleta e descarte de resíduos: Sem infraestrutura adequada, a capacidade de coleta e descarte de resíduos são reduzidas. Isso pode resultar em um gerenciamento inadequado, levando a riscos ecológicos e a saúde dos colaboradores. Recursos limitados de reciclagem e reutilização: A infraestrutura é importante para permitir a recuperação de materiais residuais. Sem essa infraestrutura, os tomadores de decisão podem ter dificuldades para desenvolver e implementar programas eficazes de reciclagem, o que leva ao aumento da geração de resíduos e à degradação ecológica. Aumento dos impactos ecológicos: A falta de infraestruturas compromete os processos relacionados a uma gestão eficiente pode prejudicar os ecossistemas locais, afetar a saúde humana e danificar os ecossistemas naturais. Recursos limitados de monitoramento e fiscalização: O investimento em infraestrutura tecnológica é necessária para o monitoramento e a aplicação das normas de gestão de resíduos. Sem essa infraestrutura, os governos locais têm dificuldades para identificar e lidar com a não conformidade, o que leva a práticas ineficazes. Redução da eficiência e aumento dos custos: A falta de infraestruturas adequadas pode resultar na redução da eficiência e no aumento dos custos associados. Isso pode limitar os investimentos em gestão de resíduos devido a gastos em outros setores com saúde pública e levar a uma maior degradação dos ecossistemas naturais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Fuss et al., (2018); Jugend et al. (2020); Rossi et al. (2020).

Tab. 5.2 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Infraestrutura".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Falta de pontos de coleta de resíduos	Despejo ilegal: A falta de pontos de coleta adequados pode levar à ocorrência frequente de despejo ilegal. Esse despejo pode ter impactos significativos nos ecossistemas naturais e urbanos e na saúde pública. Taxas de reciclagem reduzidas: Pontos de coleta inadequados podem criar barreiras para a reciclagem efetiva, pois as pessoas podem não ter acesso a instalações de reciclagem próximas ou convenientes. Isso resulta em taxas de reciclagem mais baixas, o que tem consequências ecológicas negativas. Ao aumentar as taxas de reciclagem, é possível reduzir a demanda por novos materiais, o que resulta em menor consumo de energia e menor emissão de gases poluentes. Riscos à saúde pública: A falta de pontos de coleta pode criar riscos à saúde pública, pois os resíduos podem se acumular e atrair vetores de doenças. Isso pode ser particularmente problemático em áreas urbanas periféricas, onde a densidade populacional aumenta o risco de transmissão de doenças. Custos acrescidos: Sem pontos de recolha suficientes, os serviços de gestão de resíduos podem ser menos eficientes e mais dispendiosos. O despejo ilegal sobrecarrega os recursos limitados de gerenciamento de resíduos. Isso pode resultar em recursos limitados para outros serviços públicos essenciais, como saúde e educação.
Falta de cooperativas de catadores e indústrias de reciclagem	Aumento da disposição irregular: Sem as cooperativas de catadores, mais resíduos são destinados à aterros e lixões, resultando em maior geração de resíduos e impactando diretamente no microclima. Isso pode exacerbar problemas ecológicos, como poluição, emissões de gases de efeito estufa e esgotamento de recursos. Oportunidades econômicas desperdiçadas: As cooperativas de catadores e indústrias de reciclagem desempenham um papel importante ao oferecer oportunidades de emprego e renda as comunidades que dependem de subempregos. Seu desenvolvimento tem o potencial de permitir o afastamento de empregos precários e forneça alternativas para profissionais do setor de reciclagem, que muitas vezes estão inseridos em um cenário de oportunidades limitadas. Impactos ecológicos: As cooperativas de catadores e indústrias de reciclagem contribuem para a redução dos impactos ecológicos negativos, uma vez que a recuperação permite o reaproveitamento de materiais e a redução da demanda pelo capital natural crítico.

	Oportunidades desperdiçadas de inovação: As cooperativas de catadores e as indústrias de reciclagem desempenham um papel fundamental ao impulsionar a inovação na gestão de resíduos e estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e processos. A presença desses atores cria um ambiente propício para a busca de soluções inovadoras, uma vez que estão diretamente envolvidas na coleta, separação e reciclagem de materiais.
Irregularidade na coleta de resíduos	Riscos à saúde pública: A irregularidade na coleta de resíduos apresenta riscos significativos que inclui a propagação de doenças infecciosas devido ao acúmulo de resíduos que atrai vetores de doenças. Além disso, a deposição inadequada dos resíduos pode contaminar o solo e a água, colocando em risco a saúde humana quando consumida. A queima descontrolada de resíduos também pode liberar poluentes atmosféricos prejudiciais, causando problemas respiratórios e cardiovasculares. Impacto negativo na qualidade de vida: O acúmulo de resíduos cria um ambiente desagradável e insalubre, afetando negativamente o bem-estar físico e mental da população. Esse ambiente impactante pode levar ao aumento do estresse e da ansiedade, bem como à diminuição da coesão da comunidade. Custos econômicos: A coleta irregular não apenas apresenta consequências socioecológica, mas também pode ter impactos econômicos significativos. O acúmulo de resíduos em áreas urbanas, devido à coleta irregular, pode levar à depreciação do valor das propriedades. Além disso, a falta de uma coleta regular pode criar uma imagem negativa da região, o que pode desencorajar o investimento em novos empreendimentos ou melhorias nas infraestruturas existentes. Taxas de reciclagem reduzidas: Quando os resíduos não são coletados com frequência suficiente, há maior probabilidade de contaminação e deterioração dos materiais recicláveis. Isso ocorre porque os resíduos acumulados por longos períodos podem entrar em contato com substâncias prejudiciais, como líquidos tóxicos, sujeira e biorresíduos em decomposição. Essa contaminação compromete a qualidade dos materiais recicláveis e pode torná-los inadequados para reciclagem.
Canais de logística reversa insuficientes	Aumento dos custos operacionais e de estoque: Quando os recursos não são utilizados de maneira eficiente, há um desperdício de matérias-primas, energia e outros insumos, o que impacta diretamente os custos de produção. Além disso, o transporte ineficiente, como rotas mal planejadas ou carga mal acomodada, pode resultar em danos aos produtos durante o transporte, aumentando os custos de reposição e reparo. Rentabilidade e competitividade reduzidas, devido à perda de valor e receita potencial: A falta de recuperação, reutilização e reciclagem de materiais que poderiam ser aproveitados pode resultar em perda de receita e diminuição da rentabilidade. A implementação de canais eficientes de logística reversa é crucial para evitar perda de receita e aumentar a rentabilidade. Menor conformidade com regulamentos e normas: em um sistema eficiente de rastreamento e relatórios, pode ser difícil identificar e corrigir problemas ao longo da cadeia de suprimentos. Isso pode levar a atrasos na entrega, perda de produtos, ineficiências operacionais e até mesmo violações de conformidade regulatória. Além disso, a falta de dados precisos e confiáveis provenientes de relatórios adequados pode dificultar a análise e a melhoria contínua.
Insuficiência de centros de triagem	Aumento da quantidade de resíduos enviados para aterros: Sem a separação adequada dos recicláveis, uma quantidade maior de resíduos é enviada para aterros. Isso pode levar à rápida saturação dos aterros, aumentando os custos de operação. Perda de recursos valiosos: Sem os centros de triagem dos recicláveis, os resíduos são descartados e acaba em aterros sanitários ou incinerados. Essa prática resulta na perda de recursos e na necessidade contínua de extrair o capital natural. Impactos ecológicos negativos: Na ausência de centros de triagem adequados, resíduos perigosos, como pilhas, baterias e produtos médicos e químicos, podem não ser identificados e manuseados corretamente. Isso representa um sério risco socioecológico. Quando esses resíduos perigosos não são segregados adequadamente, podem acabar misturados com outros resíduos comuns, resultando em uma contaminação potencial do solo e da água. Aumento dos custos de transporte: Com a falta de centros de triagem, os resíduos precisam ser transportados por distâncias maiores até chegarem aos locais apropriados para triagem e descarte. Isso aumenta os custos de transporte, tornando a gestão de resíduos mais cara e menos eficiente.

	Redução da eficiência do sistema de gestão de resíduos: A triagem de resíduos é uma etapa crítica no processo de gestão de resíduos. Sem centros de triagem, torna-se mais difícil e dispendioso separar e gerenciar os resíduos de maneira adequada. Isso pode levar a ineficiências no sistema de gestão e a uma diminuição da qualidade do serviço prestado.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Alfaia et al. (2017); Azevedo et al. (2019); Conke (2018).

Tab. 5.3 - Dimensão das barreiras internas para categoria "Financeira".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Alto custo inicial e operacional para implantação da logística	Redução da margem de lucro: O alto custo inicial e operacional pode reduzir significativamente a margem de lucro, uma vez que os investimentos em infraestrutura, equipamentos e tecnologias necessários são elevados. Maior tempo para retorno do investimento: Um alto custo inicial na implementação de um sistema de logística pode afetar o tempo necessário para obter retorno sobre o investimento. Isso pode resultar em um período prolongado em que o negócio está comprometido financeiramente, o que pode prejudicar sua capacidade de investir em outras áreas do negócio. Dificuldades financeiras: A ausência de uma estratégia financeira sólida para lidar com os altos custos da implantação da logística pode resultar em dificuldades financeiras para o negócio. Sem os recursos adequados para cobrir esses custos, a empresa pode precisar recorrer a empréstimos ou financiamentos para financiar a implementação do sistema de logística.
Incerteza econômica (riscos de mercado e retorno sobre investimento)	Riscos de mercado: A incerteza econômica pode gerar instabilidade nos mercados financeiros, resultando em flutuações nos preços dos ativos e nas taxas de juros. Essas flutuações podem ter um impacto significativo na rentabilidade dos investimentos. Baixo retorno sobre investimento: A incerteza econômica pode levar a um baixo retorno sobre investimento, uma vez que os investidores podem ser relutantes em fazer grandes investimentos em um ambiente de incerteza. Riscos de crédito: A incerteza econômica pode gerar um ambiente de maior risco de crédito, uma vez que os tomadores de empréstimos podem enfrentar desafios para cumprir suas obrigações de pagamento. Isso ocorre devido a uma série de fatores associados à incerteza, como redução na renda, aumento do desemprego, instabilidade nos negócios e diminuição da capacidade de pagamento. Dificuldades de planejamento: A incerteza econômica pode surgir de várias fontes, como volatilidade nos mercados financeiros, flutuações nas taxas de câmbio, mudanças nas políticas governamentais, instabilidade geopolítica e eventos imprevistos, como pandemias ou desastres naturais. Esses fatores podem levar a uma falta de clareza sobre a direção da economia e dificultar a previsão de tendências futuras.
Investimento insuficiente por parte do setor público e privado	Desenvolvimento econômico lento: A falta de investimento pode levar a um desenvolvimento lento devido à falta de infraestrutura, tecnologia e capital humano. Baixa competitividade: A falta de investimento pode levar a uma baixa competitividade, já que os atores podem não ter acesso aos recursos necessários para competir em um mercado. Desigualdades sociais: A falta de investimento em áreas como saúde, educação e habitação levam a desigualdades sociais e econômicas. Falta de inovação: A falta de investimento pode levar a uma falta de inovação, já que os atores podem não ter recursos para investir em P&D de novas tecnologias e produtos.
Falta de economia de escala	Aumento nos custos unitários de produção: Sem a economia de escala, os custos unitários de produção podem ser maiores, já que a empresa não pode aproveitar os benefícios de produzir em grandes quantidades. Preços mais elevados para o consumidor: Se a empresa não pode produzir em grande escala, os preços para o consumidor podem ser maiores, já que os custos de produção são mais altos. Menor competitividade: A falta de economia de escala pode reduzir a competitividade de uma empresa, uma vez que outras empresas que podem produzir em grande escala podem oferecer preços mais baixos e, portanto, serem mais atraentes para os consumidores.

Falta de investimentos em novas tecnologias, pesquisa e treinamento	Baixa eficiência: Os funcionários não têm acesso às habilidades e conhecimentos necessários para realizar suas funções de maneira mais eficiente. Perda de oportunidades: não estar preparada para lidar com as mudanças no mercado ou com as novas necessidades dos atores da cadeia logística. Perda de talentos: Os colaboradores podem procurar outras oportunidades de trabalho que ofereçam melhores oportunidades de aprendizado e crescimento profissional. Falta de inovação: A falta de investimentos em pesquisa e inovação pode levar a uma falta de novas ideias e soluções criativas para os desafios enfrentados.
Informalidade na remuneração dos catadores	Falta de acesso a benefícios sociais: Os catadores que trabalham na informalidade muitas vezes não têm acesso a benefícios sociais, como seguro-desemprego, auxílio-doença, entre outros. Ausência de planejamento financeiro: ausência de uma renda estável e previsível, o que torna difícil planejar suas finanças a longo prazo. Ausência de direitos trabalhistas: Os catadores que trabalham na informalidade geralmente não têm acesso a direitos trabalhistas básicos, como férias remuneradas, 13º salário, licença médica remunerada, entre outros. Riscos à saúde e segurança: Na informalidade, os catadores muitas vezes trabalham em condições precárias e insalubres, sem equipamentos de proteção individual e sem treinamento adequado para lidar com resíduos perigosos, o que pode colocar em risco sua saúde e segurança.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Alfaia et al. (2017); Guarnieri et al. (2020); Jabbour et al. (2014).

Tab. 5.4 - Dimensão das barreiras internas para categoria "organizacional".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Baixo envolvimento da alta administração no planejamento estratégico	Falta de alinhamento: No desalinhamento entre estratégias e os objetivos de governança, podem surgir conflitos e uma alocação ineficiente dos recursos disponíveis. Falta de priorização: A dificuldade na definição de prioridades e estabelecimento de metas claras e mensuráveis pode ter um impacto significativo na alocação de recursos e na eficácia das atividades. Dificuldade na implementação: uma falta de comprometimento e engajamento na implementação da estratégia pode dificultar a implementação das iniciativas Perda de oportunidades: A falta de envolvimento da alta administração pode levar a uma perda de oportunidades de crescimento e desenvolvimento, já que a visão estratégica pode ficar limitada e não contemplar novos horizontes.
Inexistência no compartilhamento das responsabilidades	Falta de engajamento: A falta de compartilhamento de responsabilidades pode levar a uma falta de engajamento e comprometimento com os objetivos em comum. Quando cada ator e parte interessada não assume a sua parcela de responsabilidade, o trabalho em equipe e a colaboração podem ser comprometidos, dificultando o alcance dos resultados desejados. Dificuldade na tomada de decisão: A falta de compartilhamento de responsabilidades tem um impacto negativo na tomada de decisões estratégicas. Quando as visões e perspectivas não são consideradas de forma equilibrada, as decisões podem ser tomadas com base em informações parciais ou tendenciosas, o que pode levar a resultados subótimos ou desalinhados com os objetivos comuns. Conflitos: O aumento de conflitos e divergências de opiniões prejudicam a relação entre as partes e afetar negativamente o desempenho e resultados do projeto ou iniciativa em questão. Ineficiência: A ineficiência no uso dos recursos e na execução das atividades resultam em atrasos, aumento de custos e qualidade insatisfatória dos produtos ou serviços entregues. Responsabilização inadequada: A responsabilização desproporcional em caso de problemas pode ter consequências negativas, como a falta de prestação de contas e a incapacidade de encontrar soluções efetivas. Quando a responsabilização não é devidamente estabelecida, pode haver um ambiente propício para a impunidade e a falta de incentivo para melhorias e correções.

Falta de conhecimento e qualificação dos colaboradores a respeito de práticas circulares	Aumento de custos: Quando a instituição não adota práticas circulares, pode haver um aumento no consumo, o que pode resultar em um aumento nos custos de produção. Além disso, a falta de otimização dos processos levam a uma ineficiência operacional e, consequentemente, a um aumento nos custos. Perda de competitividade: A falta de práticas circulares pode fazer com que a instituição perca competitividade no mercado, já que muitos consumidores e investidores estão cada vez mais preocupados com questões socioambientais e podem valorizar empresas que adotam práticas mais sustentáveis. Imagem negativa: A falta de práticas circulares pode afetar a imagem da instituição perante seus consumidores e demais partes interessadas, o que pode gerar uma perda de confiança e uma desvalorização da marca. Prejuízos financeiros: A falta de práticas circulares pode levar a prejuízos financeiros para a instituição, seja por meio de multas e sanções de órgãos reguladores ou pela falta de aproveitamento de oportunidades de economia e eficiência.
Resistência da alta administração à mudança	Estagnação: Quando a alta administração se recusa a mudar, a instituição pode ficar estagnada e perder oportunidades de crescimento e desenvolvimento. Queda na produtividade: A resistência à mudança pode afetar a produtividade dos colaboradores, que podem se sentir desmotivados e desengajados em trabalhar em uma empresa que não se adapta às mudanças do mercado. Perda de clientes e competitividade: A resistência à mudança pode afetar a satisfação dos clientes, que podem procurar outras empresas que oferecem produtos e serviços mais inovadores e adaptados às suas necessidades. Prejuízos financeiros: A resistência à mudança pode gerar prejuízos financeiros, seja por meio da falta de aproveitamento de oportunidades de mercado ou pela necessidade de arcar com custos adicionais para se adaptar às mudanças no futuro. Queda na qualidade: A resistência à mudança pode ter um impacto significativo na qualidade dos serviços oferecidos. Quando as partes interessadas resistem às mudanças necessárias, pode haver uma falta de alinhamento entre os serviços prestados e as necessidades das partes interessadas.
Poucas habilidades e estratégias de comunicação entre diferentes níveis hierárquicos	Baixa eficiência e Falhas na tomada de decisão: A comunicação inadequada entre diferentes níveis hierárquicos leva a falhas na tomada de decisão, uma vez que informações cruciais podem ser omitidas, perdidas ou mal interpretadas. Falta de alinhamento: A comunicação ineficaz pode levar à falta de alinhamento em relação aos objetivos e metas, o que pode prejudicar o desempenho e a efetividade da organização. Conflitos interpessoais: A comunicação ineficaz pode levar a mal-entendidos e conflitos interpessoais entre os colaboradores, o que pode afetar negativamente o ambiente de trabalho e a produtividade da equipe.
Falta de coordenação e apoio e compartilhamento de práticas sustentáveis	Desperdício de recursos: A falta de coordenação e compartilhamento de práticas sustentáveis leva ao desperdício, como energia, água e matéria-prima, o que gera impactos negativos no capital natural e na sustentabilidade local. Altos custos e baixa eficiência: A falta de práticas sustentáveis pode aumentar os custos da instituição, uma vez que as práticas sustentáveis geralmente visam otimizar o uso de recursos e minimizar o desperdício e envolvem investimentos em tecnologias e processos mais eficientes e sustentáveis. Perda de oportunidades de mercado e Reputação negativa: A falta de práticas sustentáveis pode levar a perda de oportunidades de mercado, uma vez que os consumidores estão cada vez mais conscientes e exigentes em relação às práticas das empresas e responsabilidade social.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Jabbour et al. (2014); Oliveira et al. (2018); Rossi et al. (2020).

O avanço de um modelo de desenvolvimento sustentável, o bem-estar e a produtividade podem ser melhorados com condições de trabalho adequadas e favoráveis (Moreira et al., 2019). Com pouquíssimas exceções, os catadores que atuam em diferentes etapas do ciclo de coleta e recuperação dos resíduos sólidos são quase exclusivamente responsáveis pela coleta dos resíduos recicláveis no país. Segundo o movimento nacional de

catadores, existem cerca de 800 mil catadores ativos no Brasil, a maioria dos quais vive na informalidade impetuosos por serem remunerados pelas empresas privadas e/ou pelo estado e de sair da informalidade (Guarnieri et al., 2020). Embora uma coalizão de empresas em algumas cidades tenha feito investimentos na infraestrutura das cooperativas de catadores, na maioria dos centros urbanos nacionais, os esforços são insuficientes para compensar os catadores por seu trabalho por meio de uma remuneração justa (Fusas et al., 2020).

As zonas afastadas dos centros industriais, que correspondem às regiões menos desenvolvidas do país, são onde se concentram os maiores desafios relacionados a uma gestão de resíduos, bem como do uso de tecnologias dedicadas a instalação de indústrias de reciclagem, triagem e arranjos de modelo de negócio (Mancini et al., 2021). As melhorias contínuas nas infraestruturas são necessárias para identificação, triagem, descontaminação e processos de abastecimento e uma barreira significativa para a reciclagem efetiva. Uma das principais razão para as baixas taxas de reciclagem de resíduos sólidos no país, principalmente nos setores de baixo valor agregado, é a falta de práticas para apoiar a reutilização dos resíduos. Nesse sentido, no cenário nacional, recuperação dos resíduos está diretamente relacionadas à destreza manual dos catadores (Fuss et al., 2018). Essa condição, evoca a falta de políticas públicas sociais efetivas. A legislação atual, exige que as cooperativas de catadores gerenciem e operem instalações de triagem para reciclagem, isentando essa responsabilidade dos governos locais e principalmente do setor privado. A falta de dados e/ou incompatibilidade de informações e métricas efetivas para avaliar o estado da gestão de resíduos sólidos no Brasil é uma barreira tecnológica que merece destaque, tornando desafiador o estabelecimento de metas para todos os atores da cadeia de valor (Rossi et al., 2020).

Para projetar uma estrutura eficaz de gerenciamento de resíduos sólidos é fundamental levar em consideração as restrições financeiras. Os governos e as autoridades locais frequentemente tentam reproduzir os sistemas de gerenciamento de resíduos bem-sucedidos das nações desenvolvidas, o que representa um grande desafio. Os custos extremamente elevados desses sistemas contrastam com os orçamentos disponíveis ínfimo dos países emergentes (Alfaia et al., 2017). Nesse sentido os atores chave encontram inúmeras dificuldades na implementação de práticas circulares, incluindo problemas de comunicação entre os setores público e privado, interesses compartilhados e falta de

confiança que impedem o crescimento de relacionamentos mutuamente benéficos, bem como papéis e responsabilidades ambíguos (Chiappetta Jabbour et al., 2020).

5.3.2 Barreiras externas

Algumas das barreiras externas dificultam o gerenciamento de resíduos dizem respeito a incerteza por parte das partes interessadas, questões políticas quanto a regulamentação, infraestrutura urbana e interação tecnológica (Bui & Tseng, 2022). A incerteza social refere-se à falta de conscientização, participação e cooperação do público e das partes interessadas nas práticas de gerenciamento de resíduos sólidos, como separação de resíduos, reciclagem e compostagem. As questões relacionadas as políticas e regulamentação incluem a inadequação de padrões e incentivos. Além disso, a arquitetura dos ecossistemas urbanos envolve restrições físicas e espaciais que limitam a acessibilidade, a coleta, o transporte e o descarte (Bui et al., 2020; Yukalang et al., 2017). A interação tecnológica está relacionada ao uso insuficiente ou inadequado de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, big data, robótica e Internet das Coisas, para otimizar os processos e os resultados de implementação e desenvolvimento assim com sua mensuração (Bui & Tseng, 2022). As Tab. 5.5; Tab. 5.6; Tab. 5.7 e 5.8 detalham as dimensões das barreiras externas para as categorias "Política e legislativo", "Sociocultural", "Concorrência no mercado" e "Processo e cadeia de suprimentos" respectivamente para o atual cenário da gestão de resíduos sob uma perspectiva circular.

Tab. 5.5 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Política e legislativo".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Falta de leis específicas que promovam a circularidade por meio do design ecológico para facilitar a recuperação de produtos em fim de vida	Maior desperdício: A ausência de mecanismos que incentivem ou exijam a recuperação de produtos em fim de vida contribui para o desperdício de recursos. Maior poluição: Durante os processos de gestão de resíduos por meio de práticas "fim-de-tubo", substâncias tóxicas e poluentes, como dioxinas, metais pesados e gases de efeito estufa, são liberados. Maior consumo de recursos: A falta de leis específicas de <i>ecodesign</i> contribui para a fabricação de produtos que se tornam rapidamente obsoletos ou danificados, e consequentemente, exigindo substituição frequente. Isso gera um ciclo contínuo de produção, consumo e descarte ampliando sua pegada ecológica. Menor competitividade: A não promoção do <i>ecodesign</i> pode tornar as empresas menos competitivas em mercados mais sustentáveis, onde os consumidores estão cada vez mais conscientes do impacto ecológico dos produtos que compram.
Falta da sistematização de leis, regulamentos e diretrizes aplicáveis	Insegurança jurídica: A falta de uma estrutura clara pode levar à interpretação equivocada das regras. Isso pode resultar em infrações inadvertidas ou mesmo em violações intencionais de normas legais. Além disso, a falta de punição adequada por não cumprimento das obrigações legais pode enfraquecer o incentivo para o cumprimento das regras. Ineficiência regulatória: A falta de sistematização pode resultar em lacunas ou redundâncias nas normas legais, além de uma falta de coordenação entre as diferentes

	agências reguladoras. Isso pode levar a uma regulamentação ineficaz, prejudicando a implementação de políticas e a proteção de interesses públicos. Dificuldade de fiscalização e aplicação: Quando as leis, regulamentos e diretrizes aplicáveis não estão sistematizados, as autoridades reguladoras enfrentam dificuldades em fiscalizar e aplicar essas regras. Isso pode levar a impunidade e à falta de responsabilização por violações das normas legais e regulatórias. Desigualdade e discriminação: A falta de sistematização pode levar a disparidades na aplicação da lei e à discriminação, já que as pessoas podem ser tratadas de maneira diferente com base em sua localização geográfica, classe social, gênero, raça ou outras características. Custos elevados: A falta de sistematização das obrigações legais pode resultar em custos elevados para governos, empresas e demais partes interessadas. A complexidade e a falta de clareza no cumprimento das exigências legais levam a custos adicionais de conformidade, como contratação de consultores jurídicos, implementação de medidas de conformidade e treinamento.
Presença de “brechas” na legislação (responsabilidades, custos, passivos ambientais)	Falta de responsabilização: As “brechas” na legislação permitem que os atores evitem a responsabilidade por suas ações, especialmente quando se trata de danos socioecológicos. Isso leva a uma falta de responsabilização pelos impactos negativos da atividade econômica, incluindo a poluição do ar, solo e água. Custos elevados para a sociedade: Quando as empresas ou indivíduos não são responsabilizados pelos danos socioecológicos que causam, os custos podem recair sobre a sociedade como um todo. Isso incluiu custos ecológicos, desigualdades sociais a necessidade de remediação de áreas contaminadas e saúde pública. Passivos ambientais: As brechas na lei permitem que os atores e partes interessadas evitem a responsabilidade por passivos ambientais, como a poluição do solo e da água. Isso pode resultar em passivos que permanecem por décadas, afetando a saúde e o bem-estar das comunidades locais. Concorrência desleal: Quando atores menos responsáveis ou menos preocupados com os ecossistemas naturais competem de maneira desleal com atores que cumprem as leis e regulamentos socioecológicos existe uma luta assimétrica. Isso prejudica a competitividade e desfavorece os atores que investem em práticas responsáveis e incentivar uma “corrida para o fundo”.
Políticas reativas	Maior custo: Quando as políticas são reativas, o custo para lidar com uma questão é maior do que se a abordagem fosse preventiva. Isso ocorre porque a correção dos problemas pode exigir mais recursos e tempo, além de ser mais difícil de realizar. Impactos negativos na saúde pública: Muitos problemas de saúde pública decorrem da falta de políticas preventivas. Nesse sentido, a saúde pública pode ser afetada negativamente, já que as soluções encontradas podem não ser tão efetivas. Aumento de riscos: A falta de políticas preventivas pode aumentar os riscos associados a questões ecológicas, de saúde e sociais. Danos ambientais: Políticas reativas podem resultar em danos significativos. Isso inclui a poluição de rios, mares e oceanos, a contaminação do solo e do ar, a perda de biodiversidade e crises climáticas. Falta de efetividade: Políticas são reativas tendem a não serem tão efetivas quanto as preventivas, já que as soluções encontradas não são capazes de lidar totalmente com a raiz dos problemas.
Falta de políticas econômicas de apoio para o setor informal	Pobreza: O setor informal é composto principalmente por profissionais de baixa renda sem proteção social. No cenário nacional, a falta de políticas econômicas de apoio tem levado a uma exclusão social e marginalização desses trabalhadores. Dificuldade para lidar com crises econômicas: Quando ocorrem crises econômicas, o setor informal é o mais afetado. A falta de políticas econômicas de apoio pode tornar ainda mais difícil lidar com as consequências dessas crises. Desigualdade: A falta de políticas econômicas de apoio para o setor informal pode levar a uma maior desigualdade. Isso pode criar um ciclo de exclusão social e econômica que é difícil de quebrar. Baixo crescimento econômico: O setor informal é um componente importante da economia, mas a falta de políticas econômicas de apoio pode limitar o crescimento econômico. Isso ocorre porque o setor informal não recebe os mesmos incentivos e apoio que o setor formal, o que pode limitar sua capacidade de crescer e gerar empregos.

Falta de acordos intersetoriais	Falta de cooperação e dificuldade na implementação de políticas: A falta de acordos intersetoriais leva a uma falta de cooperação entre as diferentes partes interessadas. Isso pode dificultar a resolução de problemas complexos que afetam múltiplas áreas. Isso ocorre porque diferentes partes interessadas podem ter interesses conflitantes ou objetivos diferentes. Falta de efetividade: A falta de acordos intersetoriais pode levar a políticas menos efetivas. Isso ocorre porque as políticas podem não ser capazes de levar em consideração todos os fatores relevantes ou abordar todos os interesses das diferentes partes interessadas. Perda de oportunidades: A falta de acordos intersetoriais pode levar a uma perda de oportunidades de colaboração e cooperação entre diferentes partes interessadas. Isso pode impedir o desenvolvimento de soluções mais inovadoras e criativas para resolver problemas complexos.
Falta de monitoramento para logística reversa e práticas de recuperação	Descarte inadequado: A falta de monitoramento leva a um descarte inadequado de resíduos, incluindo produtos em fim de vida e materiais recicláveis, resultando na degradação dos ecossistemas. Falta de responsabilidade: A falta de monitoramento resulta em uma falta de responsabilidade entre os atores e partes interessadas envolvidas na logística reversa e práticas de recuperação por meio de práticas inadequadas e menos eficazes em relação ao manejo de resíduos. Falta de transparência: A falta de monitoramento resulta em uma falta de transparência em relação ao destino dos resíduos. Isso pode levar a problemas de confiança e suspeitas em relação à eficácia das práticas de reciclagem. Prejudica a Economia Circular: A falta de monitoramento prejudica a implementação e desenvolvimento de uma Economia Circular, que depende de uma cadeia de suprimentos integrada e eficiente para garantir que os materiais e produtos sejam reciclados e reutilizados de forma adequada. Impactos negativos na saúde pública: É fundamental que sejam implementadas políticas de monitoramento rigoroso e conscientização da importância da logística reversa e recuperação adequada de resíduos para proteger os ecossistemas e a saúde pública especialmente em relação ao descarte inadequado de resíduos perigosos e tóxicos.
Disposição e capacidade de assumir estratégias de longo prazo	Perda de oportunidades: As perdas de oportunidades para investimentos impedem o desenvolvimento de soluções mais eficientes e economicamente viáveis para gerenciamento de resíduos e uso do capital natural. Desperdício de recursos: Sem uma estratégia clara de longo prazo, as práticas são incoerentes e pouco eficazes, desperdiçando recursos e aumentando os custos para as empresas e para a sociedade. Dificuldade em enfrentar desafios futuros: A falta de uma estratégia de longo prazo dificulta a preparação e a adaptação às mudanças climáticas, desastres naturais, crescimento populacional entre outros desafios futuros. Falta de transparência: A falta de uma estratégia transparente prejudica a confiança da sociedade em relação às políticas e ações governamentais, além de gerar incertezas e insegurança entre os investidores. Problemas socioambientais: A falta de uma estratégia de longo prazo pode gerar impactos socioambientais negativos, como o aumento de resíduos não gerenciados, a degradação de ecossistemas, a escassez do capital natural.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de da Silva & Bolson (2018); Ferri et al. (2015); Guarnieri & Streit, (2015); Jabbour et al. (2014).

Tab. 5.6 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Sociocultural".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Preconceitos do mercado consumidor em relação a produtos remanufaturados e reciclados	Baixa qualidade: A crença de que os produtos remanufaturados são de qualidade inferior, não é necessariamente verdade. Esses produtos podem ter a mesma qualidade ou superior aos produtos novos. Menor durabilidade: Existe um preconceito como relação a vida útil mais curta, o que não é necessariamente verdade. Esses produtos podem durar tanto quanto os produtos novos.

	Estética inferior: Alguns consumidores acreditam que produtos remanufaturados têm uma aparência inferior. No entanto, muitos produtos remanufaturados ou reciclados podem ter uma aparência tão boa quanto os produtos novos. Preço elevado: Para o mercado consumidor, existe uma percepção de que produtos remanufaturados ou reciclados devem ser mais baratos. Isso nem sempre é verdade, o preço é influenciado por vários fatores, como o custo dos materiais, a complexidade do processo de fabricação e a oferta e demanda. Falta de confiança: Muitas vezes, existe a desconfiança em produtos remanufaturados ou reciclados porque não estão familiarizados com o processo de fabricação. Eles podem se preocupar com a segurança ou qualidade dos produtos.
Desafios relacionados à consciência social em separar e eliminar os resíduos	Falta de informação e educação: Grande parte da sociedade ainda não têm conhecimento sobre a importância da separação e eliminação adequada de resíduos, e pode não saber como fazer isso corretamente. Resistência à mudança de hábitos: Mudar hábitos pode ser difícil, especialmente quando as pessoas estão acostumadas a descartar seus resíduos sem utilizar o processo de separação dos resíduos. Dificuldades de acesso à coleta seletiva: Em muitas regiões, a coleta seletiva ainda é limitada ou inexistente, o que dificulta a separação e eliminação adequada. Falta de infraestrutura: Sem uma infraestrutura adequada, existe a dificuldade em separar corretamente os resíduos, o que pode levar à contaminação de materiais recicláveis e dificultar o processo de recuperação desses materiais. Além disso, a coleta eficiente de resíduos recicláveis torna-se comprometida, levando muitos desses materiais a serem descartados em aterros ou lixões. Falta de incentivos: Muitas vezes não há incentivos (tanto sociais quanto financeiro) suficientes para a sociedade separar e eliminar seus resíduos corretamente, o que pode resultar em baixas taxas de adesão.
Desconhecimento por parte das organizações sobre tributação de produtos retornáveis	Perda de oportunidades de negócios: Os atores e partes interessadas que não estão familiarizados com as implicações tributárias de produtos retornáveis podem perder oportunidades de negócios relacionadas à venda e troca, o que pode resultar em perda de receita e de competitividade. Aumento dos custos: A falta de conhecimento sobre a tributação de produtos retornáveis pode levar a práticas ineficientes de gestão de resíduos e logística reversa, o que pode aumentar os custos operacionais e reduzir a lucratividade. Violações fiscais: sem conhecimento sobre a tributação de produtos retornáveis, as empresas podem cometer erros fiscais, como a não declaração de impostos devidos, resultando em multas e sanções fiscais. Impactos na reputação da empresa: violações fiscais podem afetar a reputação da empresa, afastando clientes e investidores.
A dificuldade de descarte influenciando na probabilidade de optar pela coleta correta dos resíduos	Aumento da disposição inadequada de resíduos: a falta de opções de descarte adequado pode levar as pessoas a descartar os resíduos em locais inadequados, como nas ruas, rios ou em terrenos baldios, aumentando a poluição ambiental e os riscos à saúde pública. Desestímulo à coleta seletiva: a falta de facilidade e disponibilidade de pontos de coleta seletiva pode desestimular as pessoas a separarem os resíduos em casa, uma vez que não há a perspectiva de que esses resíduos serão de fato encaminhados para a reciclagem ou destinação correta. Maior custo para a coleta e tratamento de resíduos: o aumento da disposição inadequada de resíduos acarreta um maior custo para a coleta e tratamento desses resíduos pelas autoridades responsáveis, o que pode se refletir em maiores taxas de coleta de lixo e aumento dos gastos públicos com gestão de resíduos.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Alfaia et al. (2017); Chiappetta Jabbour et al. (2020); Conke (2018); Fuss et al. (2018).

Tab. 5.7 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Concorrência no mercado".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Pouco reconhecimento da vantagem competitiva	Perda de participação de mercado: Os atores e partes interessadas que não adotam práticas sustentáveis podem perder participação de mercado, uma vez que muitos clientes valorizam cada vez mais a responsabilidade socioecológica. Dificuldade de atrair e reter talentos: Os colaboradores, especialmente os mais jovens, estão cada vez mais preocupados com as questões socioecológicas e, portanto, tendem a buscar produtos e serviços que compartilhem desses valores. Maior exposição a riscos: Os atores que não adotam práticas sustentáveis estão mais expostos a riscos, tais como multas, processos judiciais, interrupção de fornecimento de matéria-prima e interrupção das operações devido a questões socioecológicas e financeiras.
Dificuldade do escoamento de produtos reciclados para determinados mercados	Redução da demanda por produtos reciclados: A falta de um mercado "aquecido" pode desestimular aos atores investir em processos de reciclagem e logística reversa. Baixa eficiência dos processos de reciclagem: Se os produtos recuperados não encontrarem mercado, pode haver uma redução na eficiência dos processos de reciclagem, uma vez que os materiais podem ficar estocados por mais tempo e perder qualidade. Aumento dos custos: Na falta de mercado, pode haver um aumento dos custos de logística, uma vez que os atores terão que arcar com os custos de armazenamento e transporte desses materiais por mais tempo. Perda de oportunidades de negócios: se os produtos reciclados não encontrarem mercado, pode haver uma perda de oportunidades de negócios para empresas que investem em processos de reciclagem e logística reversa, uma vez que não poderão comercializar os produtos reciclados.
Falta de redes de comércio para produtos remanufaturados	Baixa visibilidade dos produtos remanufaturados: Sem uma rede de comércio, existe a dificuldade em divulgar produtos remanufaturados, o que pode levar a uma baixa visibilidade e, conseqüentemente, a uma baixa demanda. Dificuldade em estabelecer preços competitivos: Sem uma rede de comércio, existe a dificuldade de estabelecer preços competitivos para os produtos remanufaturados, o que pode levar a uma redução da demanda. Baixa atratividade para o mercado consumidor: Sem uma rede de comércio, existe a dificuldade em tornar os produtos remanufaturados atraentes para o mercado consumidor, o que pode levar a uma redução da demanda. Redução da eficiência dos processos de remanufatura: Sem redes de comércio, é mais difícil planejar os processos de remanufatura e otimizar fluxos de produção, o que pode levar a uma redução na eficiência desses processos assim como elevar custos e gerar incertezas.
Dificuldade de entrar como fornecedor de material reciclado para indústrias	Dificuldade em encontrar novos mercados: Se os atores e partes interessadas não conseguirem se estabelecer em um ecossistema de negócios voltados para recuperação e fornecer esses materiais para as indústrias, pode ter dificuldade em encontrar novos mercados, o que pode limitar o potencial de crescimento do setor como um todo. Dependência de um único mercado: Se os atores e partes interessadas conseguirem comercializar os seus produtos e serviços para apenas um único mercado, a dependência por um mercado exclusivo pode aumentar sua vulnerabilidade a flutuações na demanda ou mudanças nas políticas públicas ou regulatórias.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Alfaia et al. (2017); Conke (2018); da Silva & Bolson (2018); Fuss et al. (2018); Jabbour et al. (2014).

Tab. 5.8 - Dimensão das barreiras externas para categoria "Processo e cadeia de suprimentos".

Barreira	Influência no processo de tomada de decisão
Falta de apoio para o desenvolvimento em um ecossistema circular	Aumento do desperdício: Sem uma infraestrutura adequada, muitos recursos podem acabar sendo desperdiçados, aumentando a quantidade de resíduos produzidos na cidade e prejudicando todo seu ecossistema. Perda de oportunidades econômicas: Existe a necessidade de apoio adequado para a promoção de uma simbiose urbana, que pode ser uma fonte importante de emprego e renda para a população local, especialmente para o setor de recuperação de resíduos. Baixa qualidade de vida: a falta de uma infraestrutura adequada para a gestão de resíduos pode levar a uma baixa qualidade de vida para os moradores da cidade, incluindo problemas de saúde relacionados à poluição do ar e da água, bem como odores e paisagens. Perda de oportunidades de inovação: a simbiose urbana é uma área de grande potencial para a inovação e o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Sem apoio adequado, muitas oportunidades de inovação podem ser perdidas, prejudicando o desenvolvimento sustentável da cidade e da sociedade como um todo.
Pouca coordenação entre os parceiros da cadeia de suprimentos	Atrasos de produtos e serviços: Os atrasos podem ser considerados como uma barreira que afeta o bom funcionamento das operações e o alcance dos objetivos. Esses atrasos podem ocorrer devido a diversos fatores, como problemas logísticos, instabilidade nas condições climáticas, falhas no transporte ou problemas de fornecimento. Problemas de estoque: Quando os parceiros não compartilham informações sobre a demanda, o planejamento de produção e os níveis de estoque, torna-se difícil coordenar os fluxos de materiais e garantir que a quantidade certa de produtos esteja disponível em cada estágio da cadeia de suprimentos. Esses gargalos têm consequências negativas para todos os envolvidos. O excesso de estoque em um ponto da cadeia resulta em custos adicionais, como armazenagem excessiva, obsolescência e risco de perdas financeiras. Por outro lado, a falta de produtos em outro ponto da cadeia pode levar a atrasos nas entregas, insatisfação dos clientes e perda de oportunidades de negócios. Problemas de qualidade: Quando os diferentes elos da cadeia não estão alinhados em relação às especificações dos produtos, podem ocorrer erros de comunicação ou interpretação, resultando em produtos que não atendem aos padrões desejados. Isso pode levar a uma série de problemas de qualidade, como produtos com dimensões incorretas, falhas estruturais, funcionalidades inconsistentes ou componentes inadequados. Aumento de custos: A falta de coordenação na cadeia de suprimentos pode resultar em um aumento nos custos operacionais. Sem uma coordenação eficaz entre os diferentes elos da cadeia, como fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas, podem ocorrer problemas como atrasos na entrega, estoques excessivos ou insuficientes e retrabalho devido a erros de comunicação ou planejamento. Dificuldades em responder a mudanças na demanda: Quando a demanda por produtos varia, é importante que os parceiros da cadeia de suprimentos consigam se adaptar rapidamente. Sem uma coordenação eficiente, pode ser difícil responder a essas mudanças de forma ágil e efetiva.
Falta de estruturação das cooperativas de catadores	Dificuldade em obter financiamentos e investimentos: A falta de estruturação pode levar à falta de documentos, relatórios e registros, o que torna mais difícil para as cooperativas obter financiamentos e investimentos de bancos ou outras instituições. Baixa produtividade e qualidade: Sem uma estruturação adequada, as cooperativas podem ter dificuldade em organizar suas atividades de forma eficiente, o que pode resultar em baixa produtividade e qualidade dos produtos que processam ou reciclam. Falta de capacitação: A falta de estruturação pode limitar a capacidade das cooperativas de oferecer treinamentos e capacitações aos seus membros, o que pode prejudicar sua capacidade de atender a demanda do mercado e de se adaptar às mudanças tecnológicas e mercadológicas. Falta de acesso à tecnologia e inovação: Sem uma estruturação adequada, as cooperativas podem ter dificuldade em acompanhar as mudanças tecnológicas, inovações e novas práticas de gestão que podem melhorar sua eficiência e qualidade dos produtos.

Incertezas da cadeia de suprimentos em relação à qualidade e quantidade de subprodutos e recicláveis	Dificuldades na gestão de estoques: A falta de previsibilidade em relação à quantidade e qualidade dos materiais recicláveis apresenta desafios significativos na gestão de estoques. A incerteza em relação à disponibilidade desses materiais pode dificultar a programação de produção, pois a empresa não pode planejar adequadamente a quantidade de produtos a serem fabricados com base nos materiais recicláveis disponíveis. Aumento dos custos: A falta de previsibilidade nas cadeias de suprimento resulta em um aumento dos custos operacionais. Situações imprevistas, como a escassez de matéria-prima, podem interromper a produção e exigir medidas emergenciais para garantir a continuidade das operações. Isso pode levar a um aumento dos custos de aquisição de matéria-prima, transporte expresso ou substituição de fornecedores. Perda de qualidade: É essencial implementar sistemas e processos eficazes para garantir a qualidade dos materiais recicláveis, por meio de parcerias com fornecedores confiáveis e adoção de práticas de controle de qualidade rigorosas. Isso assegurar que os materiais reciclados atendam aos padrões e requisitos estabelecidos, preservando a qualidade e reputação dos produtos finais e promovendo a satisfação dos clientes. Desperdício: Se a quantidade de resíduos serem recuperados não for suficiente para atender às demandas, isso pode resultar em desperdício de recursos e tempo. Os atores podem ter investido em equipamentos, processos e recursos mas se a oferta não for adequada, esses recursos podem ser desperdiçados, aumentando os custos operacionais e diminuindo a rentabilidade.

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Andrade Junior et al. (2017); Florencio de Souza et al. (2020); Guarnieri et al. (2020); Vieira et al. (2020); Yang & Yang (2022).

De acordo com Alfaia et al. (2017), Calderón Márquez & Rutkowski (2020) e Cetrulo et al. (2018), a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil enfrenta várias barreiras externas que comprometem sua eficiência e sustentabilidade. Uma delas é a falta de conscientização e participação pública nos impactos socioecológicos da geração e do descarte de resíduos, bem como nas práticas de redução de resíduos, reutilização, reciclagem, compostagem e separação na fonte. Outra barreira é a falta de vontade política e capacidade institucional para implementar a PNRS. Uma terceira barreira é a falta de incentivo econômico e de desenvolvimento de mercado para a prevenção, minimização, valorização e recuperação de materiais residuais, bem como para a internalização dos custos socioecológicos e econômicos do descarte de resíduos. O sistema brasileiro de gestão de resíduos sólidos urbanos ainda depende do descarte de resíduos em aterros sanitários, que geralmente é mais barato e mais fácil do que outras alternativas. Além disso, o setor de reciclagem enfrenta desafios como a baixa qualidade e quantidade de materiais recicláveis, altos custos operacionais, baixa demanda e preços e concorrência desleal com os catadores informais.

Entre as barreiras políticas e legislativas no Brasil, é essencial compreender que o acordo setorial ou a Implementação do Sistema de Logística Reversa não incorpora expressamente diretrizes e metas na política nacional de resíduos sólidos. A dificuldade de integração entre as diferentes esferas políticas e administrativas para a formulação e implementação de políticas sempre esteve presente, especialmente no que diz respeito às

relações entre o governo federal que formulam políticas públicas à nível nacional e as políticas municipais à nível local (Jabbour et al., 2014). O compromisso da sociedade com a separação e disposição ecologicamente correta dos resíduos sólidos é uma barreira cultural e um obstáculo significativo à adoção dos princípios da economia circular, uma vez que isso exige uma mudança no comportamento de milhões de pessoas. Há um desperdício significativo do ponto de vista ecológico, econômico e/ou social, muitas empresas no Brasil também não parecem perceber as vantagens competitivas através do design de produtos, produção sustentável e gerenciamento eficiente de resíduos sólidos (Pinheiro et al., 2022).

5.4 Políticas públicas nacionais associadas à Bioeconomia Circular Urbana

No Brasil, a presente conjuntura não contempla políticas específicas ou uma entidade dedicada à coordenação abrangente do avanço da Bioeconomia. Diversos ministérios, entidades governamentais, setores produtivos e organizações partilham a responsabilidade pela gestão de políticas públicas, planos, programas e projetos voltados a distintas práticas no contexto do desenvolvimento da Bioeconomia. Pode-se afirmar que há alguns marcos legais que podem propiciar um ambiente favorável ao crescimento da Bioeconomia Circular Urbana no Brasil, mas ainda há um considerável espaço a ser explorado nesse campo. Para viabilizar tal progresso, é crucial estabelecer uma maior harmonização entre os diversos níveis governamentais, os setores produtivos, as instituições de pesquisa e a sociedade civil. Essa sinergia visa criar as bases indispensáveis para uma transição mais sustentável e inclusiva nas cidades brasileiras. Não obstante, observa-se que esses atores frequentemente atuam de forma fragmentada, sem uma cooperação ou coordenação efetivas. Nesse cenário, é imperativo consolidar um alinhamento coerente de prioridades, aportes financeiros e a modernização das estruturas regulatórias para impulsionar o desenvolvimento da narrativa. Isso engloba a implementação de ações efetivas que respaldem e promovam a pesquisa, a tecnologia e a inovação, juntamente com políticas que fomentem o progresso e a inovação em áreas relacionadas.

O investimento em ciência e tecnologia é considerado um fator essencial para o desenvolvimento sustentável. No entanto, o Brasil enfrenta diversos desafios para aumentar e melhorar o seu investimento, tanto do setor público quanto do privado. O Brasil investiu 1,27% do seu Produto Interno Bruto (PIB) em ciência e tecnologia em 2014, mas esse valor caiu para 1,07% em 2022. Esse percentual é muito inferior à média mundial de 1,79%, e também menor do que a média dos países da América Latina e Caribe (1,23%). Segundo

Schneegans et al. (2021) a crise econômica e política que afetou o Brasil nos últimos anos teve um impacto negativo no financiamento da ciência e tecnologia, levando a cortes orçamentários e redução de bolsas e incentivos fiscais. Além disso, o Brasil tem uma das menores participações do setor privado no financiamento de P&D, apenas 38%, enquanto a média mundial é de 63%. Isso significa que as empresas brasileiras investem pouco em inovação e dependem muito dos recursos públicos para realizar suas atividades de P&D. Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), uma das razões para essa baixa participação é a falta de uma cultura de inovação nas empresas brasileiras, que muitas vezes preferem copiar ou adaptar tecnologias estrangeiras do que desenvolver as próprias (MCTI, 2023).

O MCTI desempenha um papel central, sendo responsável por impulsionar uma agenda nacional de Bioeconomia com ênfase na biotecnologia. Dentro do MCTI, destacam-se dois institutos que coordenam as iniciativas relacionadas à Bioeconomia. O primeiro é a Coordenação Geral de Ciência para Bioeconomia (CGBE), que integra a Secretaria de Pesquisa e Formação Científica do Ministério. O segundo é o Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), uma organização social vinculada ao MCTI. O CGEE realiza dois projetos específicos voltados para a Bioeconomia: o Observatório da Bioeconomia (OBio) e o Oportunidades e Desafios da Bioeconomia (ODBio). Essas iniciativas culminaram no lançamento do Plano de Ação para Ciência, Tecnologia e Inovação na Bioeconomia, fruto da Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI). Esse plano estabelece, entre outros objetivos estratégicos, o desenvolvimento de um Plano Nacional de Bioeconomia. Além dessas instituições, o MCTI coordena o Comitê Técnico Nacional de Biossegurança (CTNBio), que oferece suporte técnico na implementação da Política Nacional de Biossegurança relacionada a organismos geneticamente modificados (OGM). O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI), também vinculados ao MCTI, desempenham um papel essencial na pesquisa, desenvolvimento e inovação em Bioeconomia e temas correlatos.

O Ministério da Educação (MEC) desempenha um papel importante na pesquisa, desenvolvimento e inovação por meio de universidades públicas, instituições de pesquisa afiliadas e parcerias com outros ministérios. Em colaboração com o CGEE/MCTI, o MEC estabeleceu os Centros de Desenvolvimento Regional (CDR), responsáveis por coordenar a

ciência, tecnologia e inovação, bem como as instituições de ensino superior, visando o desenvolvimento regional. As atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação estão intrinsecamente relacionadas aos direitos de propriedade intelectual. O Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI), vinculado ao Ministério da Economia (ME), juntamente com o Comitê Nacional de Biotecnologia (CNB) e a Estratégia Nacional de Propriedade Intelectual (ENPI), todos sob a responsabilidade do ME, desempenham um papel relevante nesse contexto. Portanto, é necessária uma coordenação efetiva entre o MCTI e o ME.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é um ator chave em diversas atividades relacionadas à Bioeconomia, principalmente nos campos da bioecologia. A Bioeconomia é um tema central em duas áreas organizacionais do MAPA. A primeira é a Secretaria da Agricultura Familiar e Cooperativismo (SAF), que busca valorizar pequenos produtores, comunidades tradicionais e pessoas físicas nos resultados das atividades relacionadas à Sociobiodiversidade. A segunda área é a Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação (SDI), que tem realizado ações para promover a valorização, conservação e uso sustentável dos recursos genéticos para alimentação e agricultura. A Coordenação de Mecanização, Novas Tecnologias e Recursos Genéticos, no âmbito do MAPA, tem desempenhado um papel ativo em encontros e fóruns nacionais e internacionais relacionados aos recursos genéticos e à diversidade biológica. A SDI também coordena a implementação do Programa Nacional de Bioinsumos, com o objetivo de reduzir a dependência de importações e ampliar a oferta de matérias-primas para o setor. Além disso, o MAPA estabeleceu o "Selo Biocombustível Social", que reconhece o papel dos agricultores familiares cadastrados no Pronaf como promotores da inclusão produtiva, e preside o Conselho Estratégico desse programa.

No que diz respeito ao Ministério de Minas e Energia (MME), o órgão desempenha um papel estratégico na Bioeconomia quando se trata do capital biológico. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que é vinculada ao MME, é responsável pela implementação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Essa iniciativa foi lançada como parte da política energética do país, reconhecendo a importância de cada tipo de biocombustível, como etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene de segunda geração, entre outros, na matriz energética brasileira. A ANP aprova a produção de biocombustíveis, credencia empresas para emitir certificados de produção real de biocombustíveis e fiscaliza o sistema de emissão de créditos de carbono (CBIOS). Assim, o

MME atua como órgão incentivador e regulador do crescimento e da conversão da biomassa em biocombustíveis.

Até o momento, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) não elaborou um documento específico e abrangente para a Bioeconomia. No entanto, o MMA desempenha um papel fundamental como parte do arranjo de governança. O ministério preside o Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGEN), responsável por coordenar a implementação do Marco Legal da Biodiversidade, e é secretário-executivo do Comitê Gestor do Fundo Nacional de Repartição de Benefícios (FNRP). Além disso, o MMA administra o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e Conhecimento Tradicional Associado (Siegen), um sistema eletrônico de registro de acesso ao patrimônio genético ou conhecimento tradicional associado. Em outras palavras, o MMA desempenha um papel necessário em todas as atividades que envolvem pesquisa, desenvolvimento e comercialização de produtos ou processos derivados da biodiversidade e do conhecimento tradicional.

O atual cenário político tem se mostrado favorável para promover avanços nas políticas relacionadas à Bioeconomia Circular Urbana. Um exemplo disso é a criação da Secretaria Nacional de Bioeconomia, que reflete essa disposição. Dado que uma abordagem bioeconômica pode estimular atividades que gerem retorno socioeconômico a partir do uso sustentável dos recursos naturais, a criação dessa nova secretaria representa um passo importante no combate às mudanças climáticas e como componente estratégico para a recuperação econômica do país. Nesse sentido, vários programas e leis relacionados à bioeconomia, que visam promover o desenvolvimento sustentável, a conservação da biodiversidade, a geração de emprego e renda e a competitividade associadas ao desenvolvimento da Bioeconomia foram desenvolvidos e merecem destaque.

O Programa Nacional do Alcool (Proálcool) foi lançado na década de 1970 com o objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e derivados de petróleo no setor de combustíveis. O programa incentivou a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e o uso de veículos "*flex*", que podem ser abastecidos tanto com etanol quanto com gasolina. A Política Nacional de Biotecnologia, editada em 2005, tem como objetivo estimular o desenvolvimento científico e tecnológico na área de biotecnologia e sua aplicação em setores estratégicos como saúde, agricultura, meio ambiente e indústria. A política busca promover a inovação e o uso responsável da biotecnologia, contribuindo para o avanço do

conhecimento e o desenvolvimento de produtos e processos inovadores. O Programa Nacional de Bioeconomia, criado em 2010, faz parte da Política Nacional de Biotecnologia e busca fortalecer o setor de biotecnologia no Brasil. O programa tem como objetivos a capitalização dos recursos naturais e da biodiversidade, o estímulo à inovação, a cooperação entre empresas e instituições de pesquisa e a internacionalização das empresas brasileiras no campo da bioeconomia. O Plano Safra é uma política agrícola do governo brasileiro que estabelece diretrizes e recursos para o setor agropecuário. O plano contempla diversas medidas relacionadas à bioeconomia, como o incentivo à agricultura familiar, à sociobiodiversidade e ao crédito agrícola para atividades produtivas sustentáveis baseadas na biodiversidade brasileira. O Programa Bioeconomia Brasil-Sociobiodiversidade, iniciativa do Ministério do Meio Ambiente, visa valorizar os produtos da sociobiodiversidade brasileira, produzidos pela agricultura familiar e por povos e comunidades tradicionais. O programa apoia a organização produtiva, a certificação, a comercialização e a agregação de valor desses produtos, contribuindo para a inclusão socioeconômica e a conservação da biodiversidade.

A Política Nacional de Alimentação e Nutrição integra o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional e busca garantir o direito humano à alimentação adequada e saudável. A política incentiva o consumo de alimentos orgânicos e agroecológicos, que são produzidos sem agrotóxicos ou transgênicos, promovendo a saúde e a qualidade de vida da população brasileira. O Programa Nacional de Bioinsumos, lançado em 2020 pelo MAPA, tem como objetivo estimular o uso de insumos biológicos na agricultura, pecuária e aquicultura. O programa busca reduzir a dependência de insumos químicos e fósseis, aumentar a eficiência produtiva, preservar o meio ambiente e agregar valor aos produtos brasileiros. O Projeto de Lei Complementar (PLP) 150/22 propõe a instituição de uma política nacional para o desenvolvimento da bioeconomia no Brasil. O projeto prevê princípios, diretrizes e instrumentos para essa política, abrangendo desde o fomento à pesquisa e à inovação até a promoção da educação ambiental e da participação social. O objetivo é impulsionar o setor da bioeconomia no país, aproveitando de forma sustentável os recursos naturais e promovendo o desenvolvimento econômico e social. A Fig. 5.4 retrata os principais órgãos reguladores e estruturas relacionadas ao desenvolvimento de uma Bioeconomia urbana.

Fig. 5.4 - Principais ministérios com políticas dedicadas a Bioeconomia.



Fonte: Adaptado de Leme Lopes & Chiavari (2022).

5.5 Biorrefinarias para o processamento de biorresíduos urbanos

Ubando et al. (2020) argumenta que a implementação estratégica das biorrefinarias desempenha um papel essencial na promoção da bioeconomia circular. Assim como uma refinaria de petróleo processa o petróleo bruto para obter diferentes derivados, uma biorrefinaria busca extrair o máximo valor da biomassa, abrangendo diferentes tipos de resíduos ou culturas energéticas, por meio de processos de conversão. Essa mudança de paradigma visa promover a eficiência no uso de recursos naturais, minimizar os impactos socioecológicos e explorar oportunidades econômicas sustentáveis. A avaliação da eficácia do modelo de biorrefinaria é realizada por meio de diversas ferramentas de avaliação que têm como foco o desenvolvimento sustentável. Um fator-chave que influencia a adoção generalizada das biorrefinarias é o aspecto socioeconômico, que requer intervenção política para superar as principais barreiras. Os biorresíduos desempenham um papel crucial na expansão das fronteiras das biorrefinarias na Bioeconomia Circular agregando valor aos produtos secundários. No entanto, um desafio crucial é estabelecer um modelo sustentável para a implementação adequada das biorrefinarias. Questões relacionadas à eficiência técnica e à viabilidade econômica são consideradas como alguns dos problemas mais relevantes a serem abordados.

A utilização adequada de biorrefinarias e a valorização dos resíduos contribuem para uma abordagem mais sustentável, em consonância com os princípios da Economia Circular. As biorrefinarias são instalações compostas por quatro plataformas de conversão principais, termoquímica, biológica, química e mecânica. Isso permite a conversão apropriada da matérias-primas em diferentes bioprodutos primários ou secundários (Ubando et al., 2021). Essas instalações podem desempenhar um papel de extrema relevância para o desenvolvimento urbano, uma vez que oferecem soluções localizadas e descentralizadas para os desafios relacionados ao gerenciamento de resíduos, fornecimento de energia e promoção da química verde. Essas instalações apresentam um potencial significativo para o desenvolvimento sustentável reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, mitigando as emissões de gases de efeito estufa, aumentando a eficiência dos recursos, criando novos mercados e empregos, e aprimorando o bem-estar social (Rosenboom et al., 2022; Solarte-Toro & Cardona Alzate, 2021).

No cenário urbano, as biorrefinarias desempenham um papel fundamental no aprimoramento dos recursos e na ecoeficiência, através da otimização do uso da biomassa e

da valorização dos resíduos e fluxos secundários provenientes de diversas fontes, como agroindústrias, aquicultura, pesca e resíduos sólidos. Essa abordagem contribui significativamente para a redução do impacto socioecológico e o fomento da circularidade dentro do sistema urbano. Ademais, as biorrefinarias têm o potencial de criar sinergias e benefícios mútuos entre os diversos atores do sistema urbano ao promover a cooperação, a coordenação e a inovação. Tais iniciativas podem gerar vantagens econômicas ao reduzir os custos operacionais e logísticos, ao criar novos mercados e oportunidades, e ao aumentar a competitividade e a resiliência do sistema urbano como um todo. A otimização dos recursos e a ecoeficiência reside na sua capacidade de utilizar uma ampla variedade de biomassa, incluindo resíduos provenientes de áreas urbanas, tais como resíduos alimentares, lodo de esgoto, resíduos sólidos municipais ou qualquer fração biológica. Por exemplo, os resíduos alimentares podem ser transformados em biogás, bioetanol, bioplásticos ou ácidos orgânicos; o lodo de esgoto pode ser empregado na produção de biogás, biofertilizantes ou biossorventes; e os biorresíduos sólidos municipais, como folhas, galhos, aparas de grama, serragem e lascas de madeira podem ser convertidos em *biochar* (carvão biológico) ou *syngas* (uma mistura de hidrogênio e monóxido de carbono) ou biohidrogênio. O biogás pode ser utilizado para aquecimento ou geração de eletricidade, o bioetanol e o biodiesel podem ser empregados no setor de transporte, os bioquímicos e biomateriais podem ser utilizados na indústria manufatureira, e os biofertilizantes podem ser aplicados na agricultura (Murthy, 2019; Tsegaye et al., 2021). As biorrefinarias também podem produzir materiais de base biológica e produtos químicos de alto valor agregado como têxteis, cosméticos, produtos farmacêuticos e biomedicina. Esses produtos contribuem para a redução da dependência de recursos externos e abrem novos mercados e oportunidades de inovação. Nesse sentido, as biorrefinarias urbanas podem criar novas oportunidades para o crescimento econômico, a inclusão social e a justiça climática, envolvendo várias partes interessadas, como cidadãos, empresas, governos e pesquisadores (Battista et al., 2020; Gottinger et al., 2020; Satchatippavarn et al., 2016).

O processo de conversão de biorresíduos urbanos em produtos de base biológica envolve várias etapas. Primeiro, o resíduo é coletado e transportado para a biorrefinaria. Em seguida, ele é separado e processado para remover quaisquer contaminantes, como plásticos ou metais. Os biorresíduos são então tratados por meio de tecnologias, como digestão anaeróbica, compostagem ou gaseificação. Essas tecnologias decompõem os materiais biológicos em compostos mais simples, como gás metano ou composto. Os produtos

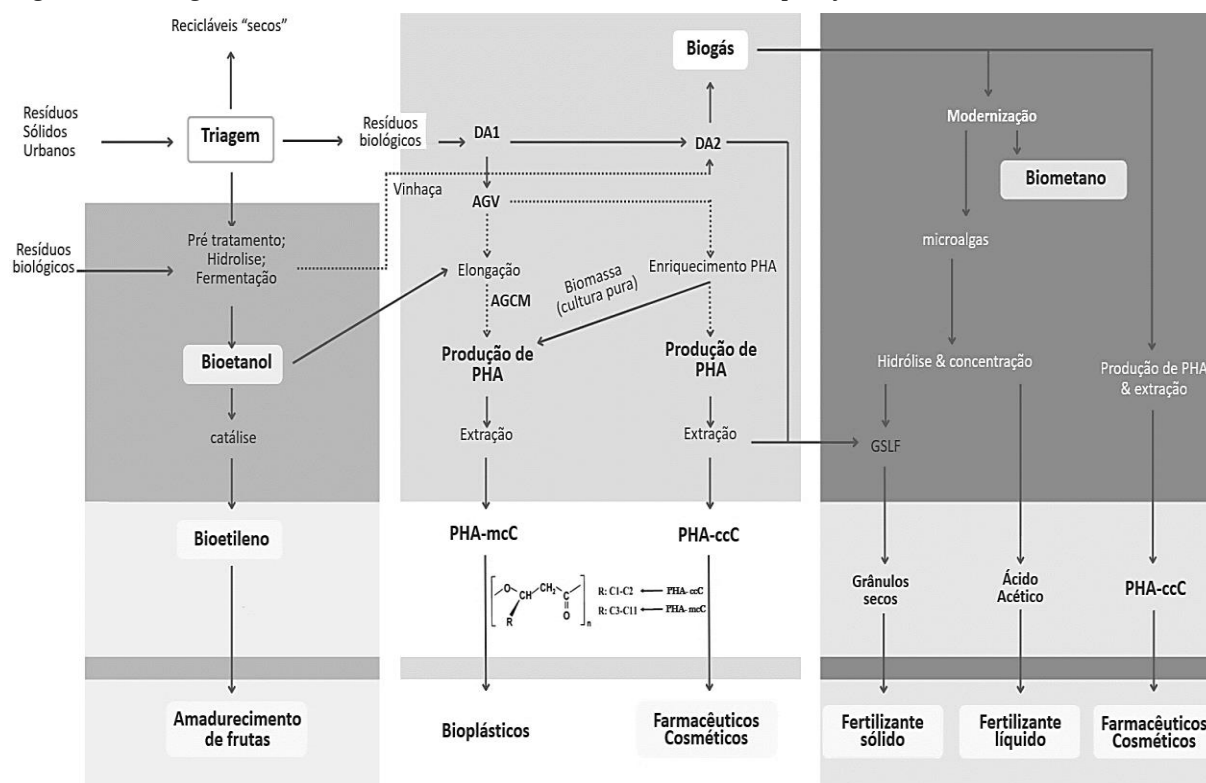
resultantes podem ser usados como biocombustíveis, fertilizantes ou recuperação energética. As biorrefinarias são categorizadas com base no tipo e na fonte da matéria-prima de biomassa, nos processos e nas tecnologias de conversão utilizadas, bem como na variedade e qualidade dos produtos obtidos. A matéria-prima pode ser adquirida através de produção dedicada, proveniente de culturas de açúcar e amido, lignocelulósicos, óleos e biomassa marinha, ou através de biomassa residual, composta por biorresíduos, lodo, esterco, resíduos industriais de lignina e resíduos derivados de petróleo. Os produtos obtidos nas são classificados em quatro categorias: os biocombustíveis, tais como o bioetanol, o biodiesel e o biogás; os bioquímicos, como os ácidos orgânicos, os álcoois e os bioplásticos; os biomateriais, incluindo fibras, compostos, papel, e por fim, a bioenergia (B. Kumar & Verma, 2021; Shahid et al., 2021).

As biorrefinarias centralizadas e descentralizadas representam duas abordagens distintas. As biorrefinarias centralizadas, geralmente são instalações de grande porte que processam biorresíduos urbanos provenientes de uma ampla área geográfica. Por sua vez, as biorrefinarias descentralizadas são instalações de menor escala que lidam com os biorresíduos de uma área mais restrita. De acordo com Sachdeva et al. (2022), as biorrefinarias centralizadas têm a capacidade de processar grandes volumes de biorresíduos urbanos de maneira eficiente. O estudo revelou que as biorrefinarias centralizadas podem gerar quantidades significativas de produtos de valor agregado, como biocombustíveis, bioplásticos e fertilizantes. Além disso, esse tipo de biorrefinaria tem uma maior capacidade em contribuir para a redução da quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. Por outro lado, as biorrefinarias descentralizadas têm a capacidade de processar localmente os resíduos biológicos urbanos, o que reduz a necessidade de transporte de longa distância. Essas instalações podem produzir produtos de valor agregado mais adequados ao mercado local e apresentam um maior potencial para a geração de empregos e no estímulo às economias locais. Embora a economia de escala não favoreça a fabricação descentralizada/distribuída, as biorrefinarias descentralizadas podem apresentar algumas vantagens. Em primeiro lugar, essas biorrefinarias permitem a redução dos custos e das emissões de transporte de biomassa, tanto para a instalação quanto para os produtos destinados ao mercado. Isso ocorre devido à proximidade geográfica entre a fonte de biomassa e a biorrefinaria, o que resulta em uma cadeia de suprimentos mais curta e eficiente.

Além disso, as biorrefinarias descentralizadas oferecem maiores oportunidades de integração com outras instalações de processamento, como refinarias ou unidades de conversão de gás. Essa integração promove sinergias operacionais, otimização de recursos e uma abordagem mais abrangente e sustentável para o processamento de biomassa. A distribuição geográfica das biorrefinarias descentralizadas também confere maior resiliência. Isso se deve à capacidade de recuperação e continuidade das operações, mesmo diante de eventos adversos, reduzindo os riscos de interrupção na cadeia de suprimentos (Angouria-Tsorochidou et al., 2022). Outro benefício das biorrefinarias descentralizadas é a maior flexibilidade no manuseio de diferentes tipos de matérias-primas e na geração de vários produtos. Essas instalações têm a capacidade de adaptar-se às características específicas das matérias-primas disponíveis localmente, permitindo uma diversificação da base de recursos utilizados e maximizando o valor agregado da biomassa processada (López-Molina et al., 2020).

Esses desenvolvimentos representam uma tendência positiva no campo das biorrefinarias de biorresíduos urbanos. A contínua inovação e aprimoramento das biorrefinarias centralizadas e descentralizadas podem proporcionar benefícios significativos, contribuindo para a transição para uma Bioeconomia Circular urbana. A adoção de práticas de colocalização e descentralização pode proporcionar benefícios como a diminuição da pegada ecológica por meio da redução do consumo de energia e das emissões provenientes do transporte de recursos. Além disso, a criação de sinergias e benefícios mútuos entre os participantes pode gerar vantagens econômicas por meio da redução dos custos operacionais, bem como da redução dos custos logísticos ou do fornecimento de recursos alternativos. Essas práticas podem aumentar a eficiência e a resiliência dos sistemas, otimizando o uso de recursos, reduzindo a dependência de fatores externos e aumentando a colaboração e a inovação entre as partes interessadas. Ao adotar essas práticas, as organizações e os sistemas podem obter benefícios ambientais, sociais e econômicos que podem melhorar seu desempenho e sua sustentabilidade. No entanto, é crucial ressaltar que há uma necessidade crítica de mais pesquisas para compreender plenamente as compensações socioeconômicas, ecológicas e de segurança entre as biorrefinarias centralizadas e descentralizadas. É fundamental avaliar de forma abrangente os custos, benefícios e impactos associados a cada abordagem, considerando fatores como eficiência operacional, viabilidade econômica, impacto ambiental e segurança das instalações. A Fig. 5.5 ilustra os principais processos e produtos de uma biorrefinaria genérica de resíduos urbanos.

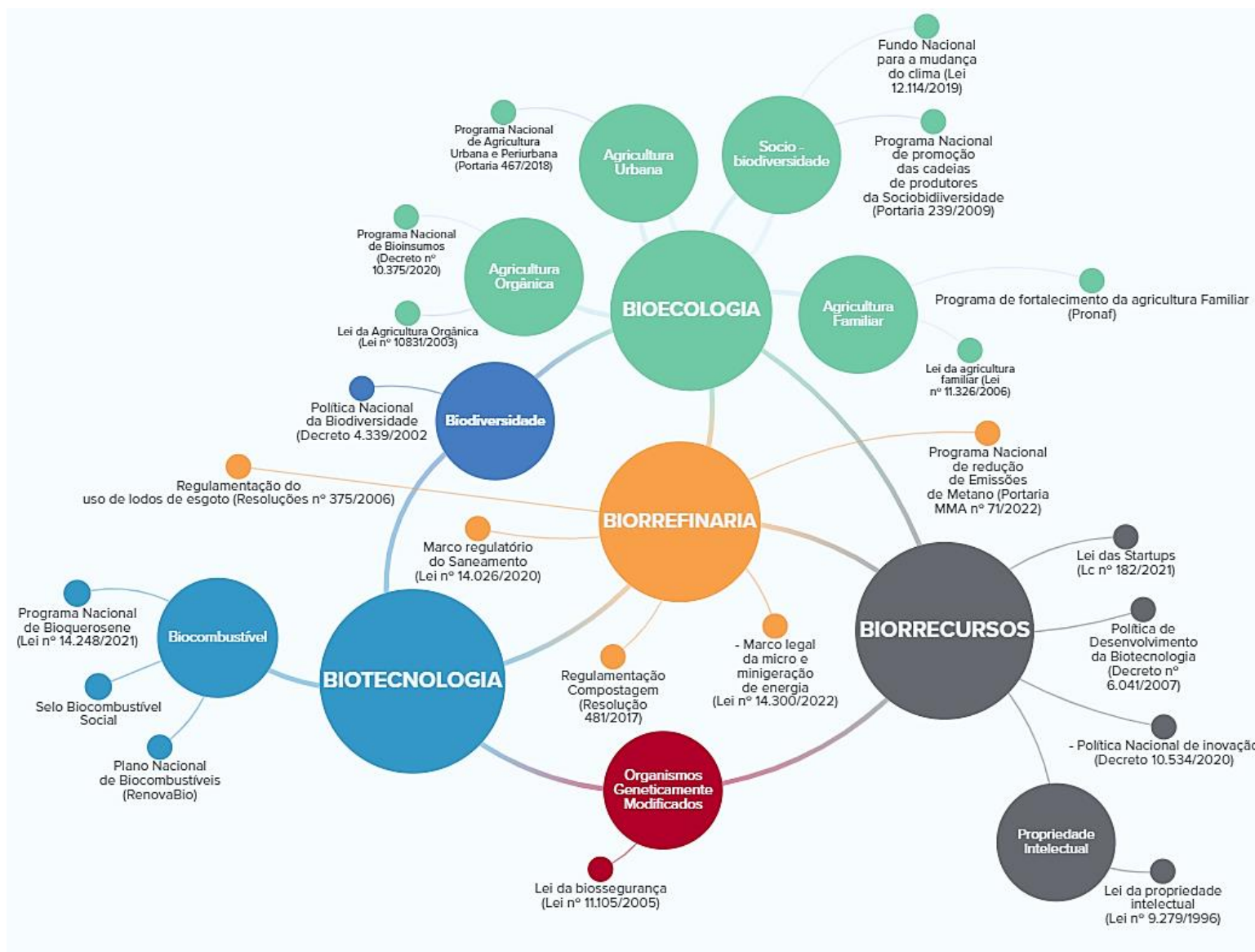
Fig. 5. 5 - Fluxograma de trabalho de uma biorrefinaria voltada a recuperação de biorresíduos urbanos.



AD – Digestão anaeróbica; AGV – Ácidos graxos voláteis; AGCM – Ácidos graxos de cadeia média; PHA – Polihidroxialcanoatos; PHA-ccC – Polihidroxialcanoatos de cadeia curta; PHA-ccM – Polihidroxialcanoatos de cadeia média; PHA-ccL – Polihidroxialcanoatos de cadeia longa.

O conceito de biorrefinaria urbana, portanto, converge com a perspectiva da biotecnologia, visto que incorpora processos biológicos, tais como fermentação, digestão e hidrólise, para transformar os resíduos sólidos urbanos em bioprodutos. Além disso, pode abraçar tecnologias biotecnológicas avançadas, como engenharia genética e biologia sintética, para otimizar a eficiência e a diversidade dos bioprodutos. O conceito também se alinha com a visão dos biorrecursos, ao explorar uma fonte de biorresíduos, gerando alternativas ao uso da biomassa e contribui na redução de resíduos e intensifica a recuperação de recursos. Por fim, o conceito de biorrefinaria urbana se alinha parcialmente com a visão bioecológica, uma vez que pode atenuar as emissões de gases de efeito estufa e a poluição, ao desviar os resíduos sólidos urbanos de aterros ou incineradores. No entanto, sob essa perspectiva sua utilização pode suscitar alguns riscos ou compromissos no âmbito ecossocial, como o consumo de água, a lixiviação de nutrientes ou a contaminação por organismos geneticamente modificados. Com base no conceito de biorrefinaria para gestão de biorresíduos urbanos adicionado as três visões da Bioeconomia propostas por Vivien et al. (2019), os diagramas organizacionais para os principais ministérios com políticas relacionadas à Bioeconomia são ilustrados na Fig. 5.6.

Fig. 5. 6 - Principais marcos regulatórios para Bioeconomia Circular Urbana sob as visões bioecológica, de biorrecursos e biotecnológica.



6. PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* TEÓRICO PARA A BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA

A conexão entre globalização, uso do capital natural e desenvolvimento sustentável tem sido objeto de vários acordos multilaterais globais, que apontam essencialmente para o reconhecimento formal para a melhoria dos serviços ecossistêmicos (UN-Habitat, 2020). Os responsáveis pelas tomadas de decisão à nível local devem considerar as compensações e sinergias existentes e adotar uma abordagem sistêmica para a avaliação, incorporando dimensões e perspectivas, de modo a abordar a incompatibilidade de escala dos serviços ecossistêmicos a fim de garantir a equidade e a justiça na provisão desses serviços (Langemeyer & Connolly, 2020; Sylla et al., 2020). Embora a avaliação dos serviços ecossistêmicos urbanos seja um tema chave, tem se observado uma subutilização na incorporação de estruturas científicas no planejamento de políticas públicas (Bai et al., 2018; Guerry et al., 2015). No âmbito do planejamento urbano, abordagens que utilizam as soluções baseadas na natureza (NbS) como uma ferramenta para enfrentar os desafios da sociedade tem ganhado espaço, de modo que projetos que envolvem o manejo, proteção e restauração de ecossistemas são considerados estratégias de "ganha-ganha" para lidar com dois dos maiores desafios globais deste século, as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade (Girardin et al., 2021). Nesse sentido, é crucial adotar perspectivas e abordagens diversas para compreender as questões urbanas e conceber soluções eficazes a fim de enfrentar os desafios intrínsecos a esses ecossistemas. No entanto, ainda não foram estabelecidos com precisão os papéis dessas abordagens em relação à contribuição para soluções espaciais (Goličnik Marušić et al., 2023).

A abordagem das NbS se baseia no princípio de que os ecossistemas naturais são altamente eficientes e resilientes, sendo o resultado de milhões de anos de evolução (McPhearson et al., 2022). Nesse sentido, ao emular a natureza e suas estratégias, é possível desenvolver soluções mais eficazes para desafios como a conservação ecológica, o desenvolvimento urbano, a agricultura, a medicina e engenharias (Kabisch et al., 2022). Sua origem reside no princípio da biomimética, conceito que também constitui o conceito de Economia Circular, ao se inspirar em reproduzir os padrões presentes na natureza (Benyus, 2002). *"As soluções inspiradas e apoiadas pela natureza, fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a promover a resiliência. Essas soluções trazem mais e mais diversidade da natureza e dos recursos e processos naturais*

para as cidades, paisagens e paisagens marinhas, por meio de intervenções sistêmicas, eficientes em termos de recursos e localmente adaptadas" (Dumitru & Wendling, 2021, p.1).

As NbS oferecem uma abordagem potencial para abordar objetivos de desenvolvimento sustentável, incluindo que *"um objetivo não pode ser alcançado à custa de qualquer outro"* (Le Blanc, 2015). Essas soluções geralmente envolvem a colaboração para alcançar objetivos específicos, e essa interconexão é o que torna o conceito de soluções conjuntas. Por exemplo, a promoção da agricultura urbana em relação ao clima pode aumentar a produtividade e a resiliência das colheitas, conservar o solo e os recursos hídricos, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a segurança alimentar. O tratamento de esgotos, que consiste na remoção de poluentes e contaminantes da água, contribui para garantir o acesso à água potável e ao saneamento básico, bem como para preservar a vida marinha e costeira. A capacitação e a geração de renda para pessoas em situação de vulnerabilidade social, por meio de cursos profissionalizantes e oportunidades de trabalho, são fundamentais para promover a igualdade de gênero, erradicar a pobreza e reduzir as desigualdades e a exclusão social. Essas práticas também contribui para o trabalho decente e crescimento econômico, gerando empregos e renda para catadores e cooperativas. A coleta seletiva, que envolve a separação de resíduos biológicos e recicláveis, não só melhora a qualidade de vida, mas também promove a preservação dos ecossistemas de suporte.

Ao avaliarem os impactos das NbS em um projeto urbano sobre o desempenho dos serviços ecossistêmicos utilizando a mais recente cidade centrada na natureza em Cingapura (Tengah), Tan et al. (2021) a compararam a três outras cidades mais antigas. Os resultados apontam que Tengah apresentou o melhor desempenho para quatro dos seis serviços ecossistêmicos, indicando que projetar cidades com os serviços ecossistêmicos em mente pode ajudar a obter um desempenho aprimorado no fornecimento de serviços ecossistêmicos e demonstra como a provisão desses serviços pode ser aprimorada, mesmo em ambientes construídos. No entanto, os esforços para integrar as NbS são dificultados pela complexidade das interações entre as dimensões social, ecológica e tecnológica dos sistemas urbanos e, apesar de algumas evidências demonstrarem resultados do emprego de NbS, incluindo o incremento da biodiversidade e seu potencial inerente para se adaptar com sucesso às mudanças nas condições ambientais; sua relação custo-benefício em comparação com as alternativas cinzas ainda são limitadas e a contribuição potencial de tais soluções

permanece controversa (Vogelsang et al., 2023; White et al., 2021). Nesse sentido, levar as NbS para o próximo nível e escalá-las para abranger todos os cenários a fim de obter um maior impacto, tem se mostrado um processo lento e, muitas vezes, conflituoso (Collier et al., 2023).

Maller (2021) descreve a essencialidade de ampliar o pensamento além do antropocentrismo, buscando uma compreensão mais profunda das interdependências entre os elementos e partes interessadas que compõem os ecossistemas urbanos, a fim de possibilitar a implementação de NbS mais inclusivas. Adotar uma perspectiva de sistemas evolutivos e complexos sobre a economia e suas interações com a natureza é essencial, reconhecendo a incerteza e a imprevisibilidade dos resultados das NbS e projetando-as de maneira adaptativa, flexível e resiliente (Vogelsang et al., 2023). Nesse sentido uma questão fundamental para a pesquisa é: *"como as NbS podem ser projetadas e implementadas de forma alinhada com os princípios e as metas da visão bioecológica da Bioeconomia?"*

Uma possível maneira de projetar e implementar as NbS alinhada com uma visão bioecologia é evitar o desperdício e uso ineficiente de energia e materiais, e promovendo modelos econômicos circulares de baixo carbono. De acordo com lei de conservação de energia ao considerar que a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada de uma forma para outra, as NbS podem auxiliar na transformação da energia armazenada em moléculas à base de carbono em outras formas reduzindo assim a quantidade de CO₂ liberada na atmosfera (Raymond et al., 2023). Além disso, ao considerar os princípios da entropia, é possível descrever o progresso de processos de não-equilíbrio dissipativos. Sistemas abertos irreversíveis, como os ecossistemas urbanos, desenvolvem-se seguindo o caminho termodinâmico que maximiza a geração de entropia de acordo com as condições específicas em que as NbS podem auxiliar o aumento da exergia desses sistemas. No caso da produção e serviços a partir de biorresíduos, ou seja, uma forma de entropia que degrada o solo e emite gases de efeito estufa, é possível utilizar processos naturais, como compostagem, digestão anaeróbica ou pirólise para otimizar o uso da energia disponível reduzindo a entropia urbana. Além disso, é importante respeitar a origem biológica e a diversidade do processo econômico, valorizando e protegendo os serviços e as funções do ecossistema que sustentam o bem-estar e a subsistência humana. Nesse cenário complexo, as dimensões sociais e éticas da NbS, como equidade, justiça, participação e capacitação,

são essenciais para o desenvolvimento de ambas as narrativas (Frantzeskaki & McPhearson, 2022).

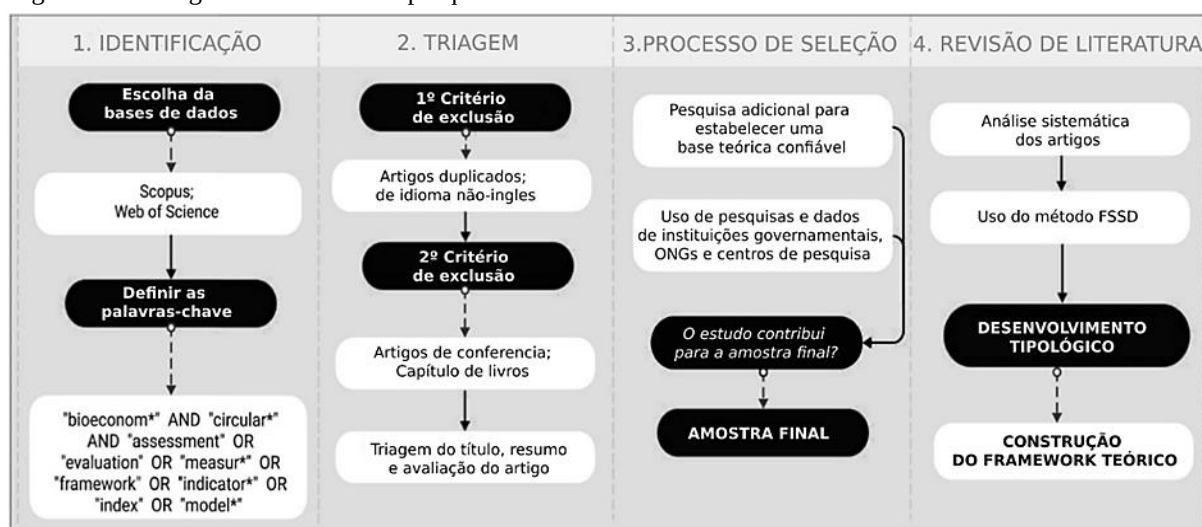
Diante dessa "equação", uma Bioeconomia Circular Urbana, em teoria, tem a capacidade de reorientar a produção linear, promovendo mudanças nos sistemas de produção e consumo que podem levar a uma redução relativa ou mesmo absoluta de matérias-primas bióticas e abióticas. Essa expansão visa substituir o conceito epistemológico de "lixo" por uma ênfase crítica na restauração, reciclagem e redução do uso de produtos que prejudicam a biosfera (Chodkowska-Miszczuk et al., 2021). No entanto, a transição para uma Bioeconomia Circular Urbana apresentam desafios relacionados à sua natureza. Esse processo implica na transformação de diversos setores, no desenvolvimento de novas cadeias de valor, na necessidade de mudança de modelos de negócios e na promoção de parcerias ecossistêmicas (Salvador et al., 2021). Nesse sentido, O *Framework* teórico proposto integra uma nova categorização tipológica para uma Bioeconomia Circular Urbana com base nas NbS. Segundo Swanson & Chermack (2013), um *Framework* Teórico é a estrutura que pode suportar ou sustentar uma teoria de um estudo de pesquisa. Em outras palavras, desenvolver um referencial teórico fornece informações sobre o que se deve buscar nos dados, criando uma análise crítica para gerar discussões mais detalhadas à luz das bases científicas estabelecidas. A proposição do referencial teórico engloba uma tipologia original e visa facilitar o planejamento e desenvolvimento de novas estratégias de pesquisa, servindo como referencial para moldar caminhos sustentáveis e uma alternativa pela qual a gestão dos ciclos biológicos urbanos seja mais bem compreendida e controlado sistematicamente.

6.1 Método de pesquisa

O método envolve uma revisão sistemática da literatura para realizar uma análise multidimensional que categoriza, resume e destaca padrões de implementação de uma Bioeconomia Circular Urbana. A primeira etapa da pesquisa consiste em selecionar plataformas de banco de dados, definir termos de busca e filtrar documentos que não pertencem à área de pesquisa. As bases de dados utilizadas foram *Web of Science* (WoS) e Scopus, que hospedam as principais publicações científicas revisadas por pares (Zhu & Liu, 2020). A segunda etapa diz respeito aos critérios de inclusão e exclusão. A pesquisa analisa documentos relevantes sobre práticas, modelos de negócios, estruturas e indicadores que abrangem o conceito de Bioeconomia Circular publicados em periódicos científicos revisadas por pares, selecionando apenas artigos na língua inglesa. Como critérios de

exclusão, não foram incluídos artigos de congressos e capítulos de livros. Os resultados da pesquisa renderam 387 artigos na plataforma *Scopus* e 399 na plataforma *WoS*. A fase de triagem aplicou filtros com base em títulos, resumos e palavras-chave e removeu duplicatas. Para uma amostra inicial, selecionamos 52 artigos, dos quais 18 foram excluídos após uma análise detalhada. A amostra final, portanto, é composta por 34 artigos (ver Anexo). A Fig. 6.1 ilustra as principais etapas de desenvolvimento do estudo.

Fig. 6.1 - Visão geral do método de pesquisa.



No decorrer da pesquisa, a necessidade de desenvolver uma tipologia própria capaz de categorizar e organizar princípios se mostrou presente. Para o desenvolvimento da pesquisa, as tipologias existentes apresentavam limitações em sua capacidade de descrever e classificar determinados princípios. Nesse sentido, a tipologia proposta se torna mais precisa, abrangente e aplicável aos dados coletados, além de organizar metodicamente os princípios com base em suas sinergias e afinidades, classificando-os de acordo com sua relevância para questões sociais, tecnológicas, políticas e ecológicas, considerando as características de uma Bioeconomia Circular Urbana e das NbS. Ao longo do capítulo, o termo "princípios" se refere às leis sistêmicas, aos fatores facilitadores e dificultadores de sucesso, às estratégias e às práticas de ação, de acordo com suas especificidades.

Para desenvolver e validar essa tipologia, utilizo uma *Survey* de pesquisa que envolve a coleta de dados por meio de um questionário estruturado (Krosnick, 2003). Para o avanço do *survey*, optamos por utilizar uma abordagem online, por meio de uma plataforma web direcionada a um grupo de pesquisa específico. Essa escolha proporcionou maior facilidade na coleta de dados, além de permitir uma análise mais ágil e eficiente das informações

obtidas (Agarwal, 2014). O grupo de pesquisa foi escolhido indivíduos com interesse e conhecimento na área de Economia Circular e desenvolvimento sustentável, de modo que o questionário utilizado foi elaborado de forma a obter opiniões dos participantes em relação ao desenvolvimento de categorias tipológicas para agrupar os princípios da Bioeconomia Circular urbana. As respostas obtidas foram analisadas, permitindo a identificação de tendências e padrões. A partir dos resultados obtidos, o estudo validou a definição de oito categorias tipológicas para atender os requisitos de pesquisa: (i) *Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas*; (ii) *Produção*; (iii) *Desenvolvimento e organização do mercado*; (iv) *Gestão de resíduos*; (v) *Gestão dos recursos naturais*; (vi) *Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes*; (vii) *Políticas, estratégias e legislação* e (viii) *Infraestrutura e tecnologia*.

6.2 Categorias tipológicas

6.2.1 *Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas de suporte*

Os ecossistemas urbanos são caracterizados por paisagens altamente simplificadas, baixa biodiversidade e mudanças climáticas, combinadas com estresse biótico e abiótico que reduz seu capital natural (Zandalinas et al., 2018). O recente interesse na mitigação das mudanças climáticas por meio das NbS faz parte de uma longa história de formulação de políticas sobre soluções de mitigação e adaptação, que remonta ao surgimento dos estudos de serviços ecossistêmicos de mais de cinco décadas. Juntamente com essas delineações, várias comparações surgiram com opções de políticas vistas como mais benéficas, econômicas, maduras e descentralizadas do que suas contrapartes não naturais. Essas soluções que têm como base os princípios de proteger, conservar, restaurar, gerenciar, melhorar ou imitar os ecossistemas naturais podem desempenhar um papel crítico (Osaka et al., 2021). No entanto, a literatura e as políticas públicas têm se caracterizadas por um vácuo de abordagens de mudança comportamental. Para o desenvolvimento da narrativa, os consumidores desempenham um papel crucial na mudança dos padrões de consumo, por exemplo, evitar o desperdício de alimentos e separando os resíduos biológicos de outros fluxos de resíduos.

O percurso narrativo da Bioeconomia Circular Urbana inclui a proteção da biodiversidade através da conservação dos ecossistemas naturais e da restauração dos ecossistemas degradados, com capacidade regenerativa crucial para garantir a

disponibilidade futura dos recursos naturais. Não exceder a capacidade de absorção significa gerar resíduos ou perdas a uma taxa abaixo da capacidade de assimilação dos ecossistemas (Muscat et al., 2021). A capacidade do ecossistema precisa ser protegida e aprimorada, tendo em mente que as condições socioecológicas e a capacidade variam de acordo com a escala geográfica. A biodiversidade é fundamental para a "capacidade tampão" e contribui para os processos regenerativos da biosfera. Os Serviços ecossistêmicos, como biorremediação e avanços em biotecnologia por meio de microrganismos e enzimas para reverter a poluição e outras formas de degradação da terra fazem parte das promessas e expectativas que as narrativas transmitem assentam numa combinação de elementos. No entanto, seu potencial de uso ainda é limitado, sendo necessários avanços biotecnológicos e novas perspectivas na tecnologia de remediação (Tripathi et al., 2017).

6.2.2 *Produção*

Em termos de Bioeconomia Circular, os insumos de base biológica estão sendo promovidos por seus potenciais vantagens ecológicas sobre os fósseis, o que deve aumentar a demanda por recursos bióticos (Vamza et al., 2021). No entanto, o potencial de produção da biomassa por si só, não se caracteriza como uma prática sustentável. Para sistemas biológicos circulares, os recursos bióticos devem ser coletados a uma taxa que forneça rendimentos de longo prazo, siga uma cascata de uso ideal e seja degradado e devolvido à biosfera no final de sua vida útil para promover a regeneração do ecossistema. Os produtos de base biológica processados que não são degradados devem ser gerenciados como parte de um ciclo tecnológico e devolvidos à "tecnosfera" o mais rápido possível para preservar seu valor socioecológico (Navare et al., 2021).

Por meio da recuperação dos biorresíduos e da utilização e do desenvolvimento de materiais de base biológica, bioplásticos, produtos químicos e biocombustíveis, organizações industriais e acadêmicas tem explorado o potencial da biotecnologia. No entanto, o debate atual sobre a Bioeconomia Circular é frequentemente focado na gestão de recursos naturais e bioindústrias extrativas, refletindo tensões anteriores e focando em interpretações da Bioeconomia sem considerar práticas sustentáveis (Hadley Kershaw et al., 2021). As atividades de recuperação por meio da conversão de subprodutos de baixo valor em materiais de alto valor, apresentam dois desafios significativos. O primeiro diz respeito à capacidade de escalar o processo. Após a validação do processo em escala laboratorial, devem ser encontradas soluções para a conversão de biorresíduos em produtos finais em

escala piloto e industrial. Em um segundo desafio, os atores devem gerenciar a cadeia de suprimentos e garantir o fornecimento contínuo de matérias-primas, o que significa construir parcerias de longo prazo. A estratégia de criação de valor depende fortemente do cenário de produção e comercialização, sendo necessário apostar no processo de valorização e no ecodesign (Donner et al., 2020).

6.2.3 Desenvolvimento e organização de mercado

O valor criado pelas NbS em fornecer bens comercializáveis, como a agricultura urbana, podem ser criados por meio de parcerias privadas e distribuídos por meio de modelos de negócios. Esse valor tem principalmente características de bem público como, melhor qualidade do ar, redução de CO₂, reciclagem de resíduos biológicos. Os modelos de financiamento e negócios necessários para os diferentes tipos de NbS variam de acordo com as expectativas das partes interessadas. Como as necessidades da sociedade diferem dependendo do mercado, os métodos de desenvolvimento de mercado devem considerar as ligações entre os atores e seus ecossistemas. Schoemaker et al. (2018) destacam que é fundamental reconhecer as mudanças e tendências do mercado devido à complexidade e às características das mudanças disruptivas que criam ambientes turbulentos. Promover o uso de recursos biológicos, desenvolver novos mercados e facilitar o acesso aos mercados existentes são práticas cruciais para quantificar e avaliar o potencial de bioprodutos e caminhos de desenvolvimento em termos econômicos, sociais e ecológicos.

Uma organização de mercado geralmente ajuda a remover barreiras relacionadas a financiamento, infraestrutura e condições de acesso a mercados, de modo que a implementação de medidas adequadas pode promover uma transição bem-sucedida para a Bioeconomia Circular, aproveitando seu potencial econômico, social e ambiental (Cong & Thomsen, 2021). A transição para a Bioeconomia Circular enfrenta desafios relacionados às questões de mercado, como altos custos iniciais de investimento, dificuldades na competição de preços e benefícios sociais e ambientais insuficientes. Nesse sentido, a implementação de novas tecnologias e processos requer investimentos significativos, o que pode ser uma barreira para empresas já estabelecidas em modelos econômicos lineares. Além disso, produtos provenientes de práticas circulares podem ter preços mais altos e enfrentar dificuldades para competir no mercado. Além disso, os benefícios sociais e ecológicos dessa abordagem podem não ser valorizados o suficiente, resultando em uma falta de incentivos econômicos (Dupont-Inglis & Borg, 2018; Salvador et al., 2021).

6.2.4 *Gestão de resíduos*

A gestão de resíduos urbanos, em especial os biorresíduos, é uma prática crucial para o desenvolvimento de práticas circulares. A fração biológica dos resíduos urbanos à nível global representam cerca de 46% do fluxo total de resíduos (Campuzano & González-Martínez, 2016). O descarte de biorresíduos em aterros controlados, aterros sanitários ou incineração é o padrão de descarte predominante em todo o mundo, especialmente em economias emergentes, resultando na perda de recursos valiosos e impactos ecológicos significativos. Devido à composição dos resíduos biológicos e seu alto teor de água, a incineração é um processo intensivo em energia e ineficiente que também leva à poluição do ar. A viabilidade da gestão sustentável de resíduos urbanos pode ser avaliada com base em vários aspectos, como social, financeiro, legal, institucional e ecológico (Yaman et al., 2020).

O princípio da cascata é uma abordagem que busca maximizar a disponibilidade e a eficiência do uso de recursos, especialmente no contexto da bioeconomia circular. Dessa forma, o princípio da cascata permite maximizar a utilização da biomassa, evitando seu descarte precoce ou sua conversão em energia em estágios iniciais. Isso aumenta a eficiência do uso dos recursos naturais, uma vez que a biomassa pode ser aproveitada em diferentes aplicações e em várias etapas, otimizando seu valor (Haberl & Geissler, 2000). A mobilização de resíduos, o uso em cascata e o uso circular da biomassa aumentam a produtividade da biomassa em comparação com o passado, reduzindo as tensões entre as atividades industriais. O uso direcionado de biomassa para fins materiais e não energéticos pode sequestrar carbono por longos períodos e evitar a necessidade de biomassa adicional. Embora seja preferível minimizar os subprodutos, alguns subprodutos inevitáveis, como os resíduos biológicos urbanos, podem fornecer nutrientes vitais e carbono e ser reciclados em sistemas agroecológicos para melhorar a qualidade do solo, fertilizar as colheitas, alimentar o gado e produzir biomateriais (Muscat et al., 2021). Devido aos baixos custos de transporte e tratamento, adaptabilidade à mudança, necessidade de instalações menores e distância de transporte reduzida, as instalações descentralizadas de tratamento de resíduos biológicos de pequena escala podem contribuir para a reciclagem, metas climáticas e benefícios socioeconômicos (Angouria-Tsorochidou & Thomsen, 2021)

Embora muitas tecnologias e caminhos de transformação estejam disponíveis para reutilização, reciclagem, recuperação e reprocessamento, a valorização dos biorresíduos apresenta muitos desafios em termos de viabilidade econômica e disponibilidade. A relação

entre uso em cascata de recursos, redução de emissões de gases de efeito estufa e sustentabilidade é altamente complexa (Morone et al., 2021). Devido ao aumento dos custos e ao crescimento descontrolado da geração de resíduos, a maioria dos ecossistemas urbanos se depara com questões relacionadas à disposição em aterros sanitários adequados. Nesse sentido, o uso dos recursos tecnológicos direcionados a gestão de resíduos assim como a promoção de parcerias por meio de cooperação poderia desviar os biorresíduos enviados para aterros ou simplesmente descartado em lixões, poderiam ser tratados em biorrefinarias e plantas de processamento, economizando espaço no aterro e gerando lucros adicionais com seu processamento (Yaashikaa et al., 2020).

6.2.5 *Gestão dos recursos naturais*

Ao adotar práticas responsáveis, como a colheita sustentável e a agricultura regenerativa, as cidades podem garantir um fornecimento contínuo de recursos renováveis para os setores de base biológica. Além disso, a gestão eficaz do capital natural pode reduzir significativamente o impacto ecológico da extração, produção e consumo de recursos em áreas urbanas. Ele reduz as emissões de gases de efeito estufa e conserva a biodiversidade. Um dos principais benefícios da gestão de recursos naturais em uma bioeconomia circular é a minimização e a valorização de resíduos. Os biorresíduos podem ser transformados em recursos valiosos, como bioenergia e bioplásticos, por meio de compostagem e digestão anaeróbica, fechando o ciclo e reduzindo a necessidade de extração de novos recursos. Além disso, a gestão de recursos naturais urbanos aumenta a resiliência e a adaptação às mudanças climáticas e aos desafios ambientais. As florestas urbanas e os espaços verdes, por exemplo, atenuam os efeitos da ilha de calor urbana, melhoram a qualidade do ar e reduzem o escoamento de águas pluviais, proporcionando benefícios socioeconômicos à comunidade (Jain et al., 2022).

Apesar da iminente necessidade de práticas que promovam o desenvolvimento sustentável em ecossistemas urbanos e a resiliência diante de problemas persistentes e transversais, como mudanças climáticas e perda de biodiversidade, os atuais caminhos em direção a um desenvolvimento sustentável, oferece soluções limitadas, concentrando-se principalmente na gestão de recursos e prestação de serviços, processos sociais, capacidades transformadoras, governança e dinâmica de poder entre os atores (Krueger et al., 2022). Devido às condições agroecológicas e socioeconômicas, algumas áreas podem ser mais adequadas para superar esses impactos. Esse processo envolve discussões sobre

considerações comerciais e de equidade, pois alcançar a sustentabilidade em uma região pode exacerbar impactos negativos em outra (Mayer et al., 2015). É de extrema importância uma identificação adequada dos impactos do uso da terra, incluindo as emissões de solo e água, bem como os impactos regionais, como a estabilidade do terreno com base na composição das diferentes áreas de terra. Essa análise detalhada dos impactos é crucial para entender os efeitos socioecológicos das práticas de uso da terra e para tomar decisões informadas sobre o manejo sustentável do capital natural (Bezama et al., 2019).

6.2.6 *Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes*

As tecnologias e modelos de negócios necessários para uma mudança de paradigma em direção a uma bioeconomia circular estão sendo desenvolvidos. A pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, no entanto, apresentam altos valores e são cercadas de incertezas. Modelos de negócios com altos impactos socioecológicos e econômicos que possam superar o "vale da morte", ou seja, a fase de viabilidade e criação de valor do modelo de negócios, são críticos para o financiamento do setor público e privado. Além disso, a construção do "*know-how*" e a promoção de parcerias público-privadas são elementos críticos para alavancar as cadeias de valor atuais e desenvolver novas (Gatto & Re, 2021; Viaggi et al., 2021). Tal engajamento requer esforços em P&D, em que as organizações públicas como institutos de pesquisa e universidades apoiam a disseminação do conhecimento e seu desenvolvimento (Purkus et al., 2018).

O crescimento da complexidade da rede afeta a estrutura organizacional, principalmente em negócios com objetivos comuns. Cada ator envolvido mantém sua singularidade, participa da tomada de decisões e compartilha os benefícios da colaboração. Essa estratégia de "criação de valor" inclui operações e atores que apoiam o desenvolvimento socioeconômico, as vantagens socioecológicas e os avanços tecnológicos. De uma perspectiva socioeconômica, a criação de uma cadeia de valor descentralizada, gestão de resíduos, apropriação local de habilidades e disseminação de conhecimento são alguns dos benefícios práticos de uma cadeia de valor de base biológica em funcionamento (Lokesh et al., 2018). Além disso, é crucial superar as lacunas na cadeia de suprimentos da biorrefinaria, desde a coleta de biomassa até o processamento da biorrefinaria via processos de valorização e a fabricação de produtos orientados para o mercado (Ubando et al., 2021). Esse processo tem como base três abordagens principais (i) intensificar a pesquisa sobre estratégias de coleta de biorresíduos; (ii) melhorar a flexibilidade da biorrefinaria para acomodar uma

ampla gama de fluxos de resíduos biológicos; e (iii) melhorar os processos de atualização *downstream* (Fava et al., 2021).

6.2.7 *Políticas, estratégias e legislação*

As NbS requerem investimento e liderança intersetorial, pois sua gestão envolve governos locais e colaboração e coordenação entre múltiplos atores. Como as NbS tem o potencial de conectar a população local com os recursos naturais, o uso de processos participativos e consultas é essencial. Ao contrário de soluções mais eficientes em termos de recursos, geralmente vistas como intervenções tecnocráticas, as soluções naturais requerem sistemas de governança descentralizados e abordagens multidisciplinares. Nos ecossistemas urbanos, as NbS exigem que os governos locais cooperem com grupos comunitários locais, organizações não governamentais, cientistas e pesquisadores (Osaka et al., 2021). No cenário atual, a maioria das políticas concretas atuantes da Bioeconomia Circular promovem pesquisa e inovação ou regulam direitos de propriedade sobre novas tecnologias (Viaggi & Zavalloni, 2021). O desenvolvimento de políticas adequadas é um dos fatores mais decisivos e significativos que influenciam a implementação da narrativa. Cong & Thomsen (2021) enfatizam a necessidade de pesquisa de governança multinível que apoie as transições urbanas, com foco na construção de "portfólios de políticas" a partir de uma perspectiva de sistemas para envolver melhor governo, empresas, sociedades e outros atores. Além disso, as incertezas quanto à mudança de políticas, leis e regulamentações impactam a viabilidade dos caminhos de valorização dos biorresíduos, uma vez que as regulamentações e políticas variam entre regiões e países, produzindo bioinovações mais ou menos atrativas de acordo com suas particularidades (Donner et al., 2020).

6.2.8 *Infraestrutura e tecnologia*

O sistema tecnológico e as infraestruturas físicas consiste nas estruturas, serviços e redes de infraestrutura que transportam pessoas, informações e recursos enquanto mediam interações entre atores sociais e ecossistemas. As interseções dos componentes naturais, construídos e tecnológicos dos ecossistemas urbanos fornecem várias oportunidades para combinar novas tecnologias e materiais para melhorar o desempenho de um sistema de infraestrutura, reduzindo o consumo de recursos e o desperdício. Nesse sentido, o desenvolvimento de novas tecnologias e a transformação das existentes são os impulsionadores críticos para a transição para uma Bioeconomia Circular sustentável. As

oportunidades residem na redução da dependência da velocidade dos ciclos naturais, seja reduzindo o uso de recursos e emissões ou aumentando a capacidade de absorção dos ecossistemas, por exemplo, a captura de carbono e tecnologias de armazenamento, plantas para melhorar a fotossíntese e a produção de energia solar mais eficiente. Além disso, redesenhar tecnologias e produtos existentes melhora a durabilidade, reparabilidade e reciclabilidade do produto. Nesse sentido, os investimentos estão diretamente relacionados ao nível de P&D que determina a dinâmica do progresso nas ciências da vida e outros avanços tecnologicamente relevantes (Muscat et al., 2021).

Dadas as tendências tecnológicas, existe uma lacuna inerente em como a sociedade deve moldar seu caminho em direção à gestão sustentável de suas atividades operacionais e alcançar estratégias para a Bioeconomia Circular (De Felice & Petrillo, 2021). Devido às diferenças de maturidade tecnológica e benefícios econômicos, os projetos de tratamento de biorresíduos urbanos podem ser construídos com base em diferentes modelos de negócios, dependendo de sua maturidade e rentabilidade, que variam de acordo com o investimento, custos e benefícios. Diferentes tecnologias permitem um tratamento mais amplo em termos de tipo e qualidade da matéria-prima dos biorresíduos. Os custos de investimento e operação são proporcionais ao aumento dessa tecnologia. Além disso, combinar diferentes tecnologias de tratamento em um sistema integrado que melhor aproveita os produtos e subprodutos é essencial (Fei et al., 2021). Essa integração aumenta a complexidade de um sistema e requer conhecimentos interdisciplinares. Além disso, uma avaliação abrangente dos fluxos de resíduos disponíveis, por exemplo, quantidades, propriedades, pureza, em combinação com uma visão geral das diferentes tecnologias de tratamento e adaptação à demanda do mercado local é uma informação crucial para decidir sobre a tecnologia mais apropriada para um determinado cenário (Lohri et al., 2017).

6.3 Níveis de desenvolvimento sustentável estratégico

A Bioeconomia Circular busca estabelecer uma sinergia entre o aproveitamento dos biorrecursos, a minimização de resíduos e a geração de valor socioeconômico, garantindo que os recursos permaneçam no ciclo técnico por mais tempo, promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento de forma integrada. A literatura sugere que a Bioeconomia Circular pode se beneficiar de considerações mais amplas dos princípios de sustentabilidade (D'Amato & Korhonen, 2021; Giampietro, 2019). A implementação de práticas sustentáveis aplicadas aos ecossistemas urbanos é capaz de melhoram efetivamente

o bem-estar das sociedades por meio de um equilíbrio entre o crescimento econômico e preservação do ambiente físico (Huang et al., 2015). Nesse sentido, esta subseção, avalia os pontos fortes, fracos e oportunidades de combinar práticas e indicadores essenciais da Bioeconomia Circular Urbana. Para tanto, foram aplicados os cinco níveis do *Framework for Strategic Sustainable Development* (FSSD) para gerenciar o sistema, avaliar compensações racionalmente e calcular o potencial de recursos sustentáveis (Broman & Robèrt, 2017). Além disso, a pesquisa propõe algumas questões norteadoras para aprofundar o tema e criar uma compreensão mais detalhada. Os cinco níveis do FSSD e as questões norteadoras para cada nível são descritos e detalhados a seguir.

6.3.1 Nível 1 - Sistema

Os sistemas são compostos por componentes independentes que interagem entre si de várias formas. Estas interações criam múltiplas vias para o sistema evoluir ao longo do tempo. No entanto, definir os limites de um sistema complexo não é uma tarefa simples, uma vez que diferentes perspectivas e objetivos podem levar a diferentes escolhas. Isto é especialmente relevante para o domínio do desenvolvimento sustentável, que visa equilibrar os aspectos ecológicos, sociais e económicos das atividades humanas. Por conseguinte, a ciência tem a responsabilidade de estabelecer limites precisos e adequados para esses sistemas (Broman & Robèrt, 2017).

Os ecossistemas urbanos apresentam propriedades emergentes, auto-organização, adaptação e aprendizagem, evolução e não podem ser descritos ou previstos por leis simplistas ou reducionistas, exigindo uma abordagem sistêmica. A descrição analítica desses sistemas normalmente requer o uso de equações diferenciais não lineares. Uma segunda caracterização para os ecossistemas urbanos é mais subjetiva. Um sistema pode ser considerado "complexo" com base em julgamentos pessoais e não pode ser descrito de forma exata (Whitesides & Ismagilov, 1999). Os sistemas sociais levam a uma maior qualidade de vida e contribuem para a complexidade geral de um sistema ao direcionar e controlar os fluxos de energia. Uma das principais diferenças entre os ecossistemas urbanos e outros ecossistemas é a complexidade social. Isso significa que os ecossistemas urbanos são moldados por decisões, instituições, culturas, valores e comportamentos humanos. Esses fatores sociais influenciam a forma como os ecossistemas urbanos são planejados, gerenciados e moldados pela sociedade (Pelorosso et al., 2017). Nesse sentido, o capítulo propõe algumas questões norteadoras para definir os limites do sistema para o

desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana. *Como esses sistemas funcionam? Quais são seus limites? Quais funções, processos, regras, procedimentos e ciclos de feedback são necessários para explicar o sucesso e a estratégia, bem como possíveis ações e instrumentos?* A Tab. 6.1 destaca o controle crítico dos princípios da Bioeconomia Circular à nível de sistema.

Tab. 6.1 - Princípios à nível de sistema.

Princípios
✓ Lei da conservação das massas (Klaassen & Opschoor, 1991)
✓ Leis da termodinâmica (Georgescu-Roegen, 1975; Schneider & Kay, 1994)
✓ Dependência de ciclos biogeoquímicos (Krapivin & Varotsos, 2008)
✓ Interações e inter-relações entre elementos bióticos e abióticos (Crenna et al., 2018)
✓ Estabilidade e resiliência do ecossistema (Cadotte et al., 2012)
✓ Dependência de questões definidas pela sociedade (D'Amato et al., 2020)

A realidade dos ciclos biogeoquímicos e seus recursos resultantes tende a ser ignorada na proposição de novas práticas em direção a um desenvolvimento sustentável, levando à noção de potencial de crescimento físico ilimitado. No entanto, a energia é a força motriz por trás da reciclagem de nutrientes e carbono e até mesmo em ciclos biogeoquímicos, como nutrientes e carbono sendo diretamente "reciclados" pelos ecossistemas. A entropia ou desordem que aumenta em cada estágio de conversão de energia deve ser considerada. Mesmo que por meio de práticas circulares, a recuperação e a reciclagem consomem energia de modo que *"cada volta ao redor do círculo cria dissipação e entropia, atribuídas a perdas em quantidade (perdas de material físico, subprodutos) e qualidade (mistura, degradação). Nesse sentido, novos materiais e energia devem ser injetados em qualquer loop material circular, para superar essas perdas dissipativas"* (Giampietro, 2019, , p. 146).

Um dos principais desafios para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana é abordar a dependência de questões definidas pela sociedade, como padrões de consumo, normas sociais, valores culturais, agendas políticas e incentivos econômicos, que influenciam a forma como o capital natural é utilizado e valorizado. Essas questões podem criar barreiras ou motivações para a implementação dos princípios da Bioeconomia Circular, como a redução da produção de resíduos, a reutilização de materiais, a restauração de ecossistemas e o aumento da biodiversidade. É importante considerar a interconexão de diferentes atores, setores e escalas e adotar uma abordagem adaptativa que possa equilibrar as compensações e os benefícios colaterais das iniciativas de Bioeconomia Circular (D'Amato et al., 2020).

6.3.2 Nível 2 - Sucesso

A avaliação dos fatores determinantes do êxito no desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular apresenta relevância por diversos motivos. Em primeiro lugar, essa avaliação pode contribuir significativamente para a identificação de oportunidades e desafios inerentes à transformação da atual Economia Linear, fundamentada em recursos fósseis para uma Economia Circular orientada pelo uso e recuperação de recursos biológicos. Além disso, esse processo de avaliação torna-se imprescindível na medida em que viabiliza a monitorização e análise dos impactos ecológicos, sociais e econômicos decorrentes da implementação da Bioeconomia Circular, particularmente no que tange às mudanças climáticas, à biodiversidade, à eficiência dos recursos, à inovação, ao emprego e à prosperidade.

Outro ponto relevante é que essa avaliação proporciona um meio de informar e envolver as partes interessadas, diferentes atores chave à níveis de governança, fomentando a colaboração e a cocriação de soluções para os desafios inerentes. No entanto, inúmeros impedimentos também podem prejudicar o desempenho de sustentabilidade e o potencial alternativo da Bioeconomia Circular Urbana. Em particular, a avaliação dos objetivos é uma questão crítica entre interesses conflitantes no manejo ou uso do ecossistema e precisa ser reconhecida, avaliada e gerenciada. Nesse sentido, o estudo propõe as seguintes questões: *Quais são os direcionadores fundamentais que constituem um resultado de planejamento bem-sucedido?*; *Quais barreiras e compensações precisam ser consideradas?* A Tab. 6.2 destaca os fatores críticos e as barreiras para cada uma das oito categorias propostas para responder a essas perguntas.

Tab. 6.2 - Drivers e barreiras para o nível de Sucesso.

Categoria	Drivers	Barreira
Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas	✓ Substituição de produtos fósseis ou insustentáveis por bioprodutos (Calicioglu & Bogdanski, 2021)	✓ Disponibilidade de recursos (Kardung et al., 2021) ✓ Adaptação às alterações climáticas (Kardung et al., 2021)
	✓ Reduzir a dependência da velocidade dos ciclos naturais (Muscat et al., 2021)	✓ Efeitos ecológicos da implementação de estratégias de Bioeconomia com uso intensivo de recursos (D'Amato et al., 2020) Compensações insuficientes para benefícios sociais e ecológicos (Cong & Thomsen, 2021) ✓ Pressão ambiental sobre as áreas costeiras da urbanização (Fava et al., 2021) ✓ Degradação do solo (Fava et al., 2021) ✓ Alteração indireta do uso do solo (Ladu & Morone, 2021)

Produção	✓ Abordagem de biorrefinaria (Morone et al., 2021) ✓ Usar o princípio de "Upcycling" sempre que possível (Donner et al., 2020; Salvador et al., 2021)	✓ Integração adequada de tecnologias e automação dos ciclos de produção (Cong & Thomsen, 2021) - Produtos competitivos (Cong & Thomsen, 2021) ✓ Disponibilidade de matérias-primas (Morone et al., 2021) ✓ Variabilidade, flexibilidade e rigidez inerentes ✓ Diversidade e variabilidade de matérias-primas (Duan et al., 2020) ✓ Rigidez e co-dependências (Wohlfahrt et al., 2019) ✓ Desafios relacionados a padrões (Gottinger et al., 2020)
Desenvolvimento e organização do mercado	✓ Criar e garantir empregos através da adição de valor in situ e do aumento da resiliência urbana (Calicioglu & Bogdanski, 2021; Ronzon & Sanjuán, 2020) ✓ Economias de escala para clusters (Donner et al., 2021) ✓ Avanços na integração horizontal e vertical (Kardung et al., 2021); ✓ Cenário de desenvolvimento de previsão que promove negócios e investimentos (Francocci et al., 2020) ✓ Modelos de negócio dinâmicos e integrados (Donner et al., 2021)	✓ Ambiente de mercado desfavorável para formação de redes (Gottinger et al., 2020) ✓ Conflitos entre as partes interessadas (D'Amato et al., 2020) ✓ Incertezas e condições de investimento desfavoráveis (Bröring et al., 2020; Cong & Thomsen, 2021; Francocci et al., 2020; Gottinger et al., 2020) ✓ Bloqueios de infraestrutura e modelos de negócios (Gottinger et al., 2020) ✓ Altos custos de investimento (Cong & Thomsen, 2021) ✓ Mercado limitado e falta de competitividade de preços para produtos de base biológica (Bröring et al., 2020; Donner et al., 2020; Fava et al., 2021) ✓ Cultura corporativa hesitante (Morone et al., 2021) ✓ Falta de educação e formação dos gestores das empresas em novas oportunidades de negócio (Fava et al., 2021) ✓ Múltiplas partes interessadas e visões parciais (Wohlfahrt et al., 2019) ✓ Concorrência com a indústria de base fóssil e dificuldade de penetração em cadeias de valor não biológicas (Bröring et al., 2020; Lokesh et al., 2018)
Gestão de resíduos urbanos	✓ Sistema de tratamento descentralizado (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Cong & Thomsen, 2021; Seigné-Itoiz et al.; Zabaniotou, 2018) ✓ Possibilidades de redução de custos e economias de escala (Bezama et al., 2019)	✓ Taxa adicional para o transporte e manuseamento de resíduos de empreiteiros de reciclagem (Jarre et al., 2020) ✓ Mão-de-obra adicional para monitoramento e triagem manual de resíduos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021) ✓ Gestão ineficiente dos resíduos urbanos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021) ✓ Falta de estrutura cooperativa regional (Donner et al., 2020; Salvador et al., 2021)
Gestão sustentável dos recursos naturais	✓ Sistema de tratamento descentralizado (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Zabaniotou, 2018; Cong & Thomsen, 2021; Seigné-Itoiz et al., 2021; Cong & Thomsen, 2021; Seigné-Itoiz et al., 2021) ✓ Possibilidades de redução de custos e economias de escala (Bezama et al., 2019)	✓ Taxa adicional para o transporte e manuseamento de resíduos de empreiteiros de reciclagem (Jarre et al., 2020) ✓ Mão-de-obra adicional para monitoramento e triagem manual de resíduos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021) ✓ Gestão ineficiente dos resíduos urbanos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021) ✓ Falta de estrutura cooperativa regional (Donner et al., 2020; Salvador et al., 2021)

Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	✓ Co-investimentos em P&D (Donner et al., 2021) ✓ Abordagem do fluxo de resíduos (Donner et al., 2020) ✓ Apoio financeiro público e investimentos privados em serviços ecossistêmicos (D'Amato et al., 2020) ✓ Envolvimento e engajamento das partes interessadas (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Donner et al., 2021; Jarre et al., 2020; Morone et al., 2021; Otto et al., 2021; Seigné-Itoiz et al., 2021) ✓ Colaboração e cooperação ao longo da cadeia de valor (Ladu & Morone, 2021; Morone et al., 2021)	✓ Oposição pública (Gottinger et al., 2020); ✓ Falta de conscientização, interesse e engajamento do público (Gottinger et al., 2020) ✓ Faltam habilidades e competências (Gottinger et al., 2020) ✓ Falta de informação e conhecimento (Gottinger et al., 2020) ✓ Altos investimentos em P&D (Bröring et al., 2020) ✓ Disponibilidade e confiabilidade dos dados (Jarre et al., 2020) ✓ Dilema da escala (Bezama et al., 2019) ✓ Comunicação pública "truncada" com parceiros da cadeia de valor (Bröring et al., 2020).
Políticas, estratégias e legislação	✓ Governança de cima para baixo e de baixo para cima (Cong & Thomsen, 2021; Lokesh et al., 2018) ✓ Estabelecer cadeias de valor locais justas e equitativas (Calicioglu & Bogdanski, 2021) ✓ Apoio as partes interessadas vulneráveis (Calicioglu & Bogdanski, 2021); ✓ Políticas preferenciais (Duan et al., 2020)	✓ Políticas ausentes e legislação desfavorável (Gottinger et al., 2020) ✓ Governança díspares (D'Amato et al., 2020) ✓ Políticas fragmentadas e burocracia excessiva (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Francocci et al., 2020; Morone et al., 2021); ✓ Barreiras a práticas circulares (Morone et al., 2021); ✓ Fragmentação das normas e dos sistemas de certificação no sector da bioenergia (Fava et al., 2021); ✓ Falta de regulamentos e critérios específicos para o fim dos resíduos no que respeita à classificação e utilização de biorresíduos industriais (Fava et al., 2021) ✓ Lacuna de conhecimento entre desenvolvedores e usuários finais (Bröring et al., 2020) ✓ Falta de um quadro comum para o desenvolvimento e o financiamento local e regional (Francocci et al., 2020)
Infraestrutura e tecnologia	✓ Biotecnologias inovadoras e comprovadas para a conversão de biorresíduos (Donner et al., 2021; Muscat et al., 2021) ✓ Sistemas eficazes de recolha e armazenamento de resíduos (Salvador et al., 2021)	✓ Desafio financeiro em relação ao investimento em máquinas, instalações e tecnologias de apoio (Duan et al., 2020; Fava et al., 2021; Gottinger et al., 2020; Mak et al., 2020) ✓ Métodos de tratamento limitados e baixo nível de prontidão tecnológica (Bröring et al., 2020; Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021) ✓ Desafios logísticos no acesso às cadeias de suprimentos (Mak et al., 2020); ✓ Transferência de tecnologia e propriedade intelectual (Bröring et al., 2020; Donner et al., 2021) ✓ Necessidade de um redesenho das tecnologias e produtos existentes (Mosca et al., 2021) ✓ Limites operacionais da execução dos projectos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021)

O conceito de ecossistema urbano como um sistema socioecológico e tecnológico destaca sua interconectividade e complexidade, representam desafios de governança e a importância de estruturas de governança que coordenam setores, áreas geográficas e escalas

de tempo. O comportamento e as funcionalidades dos ecossistemas urbanos dependem de sistemas socioecológicos e técnicos complexos e interligados. Esses sistemas, por sua vez, dependem de serviços ecossistêmicos por meio de redes de infraestrutura tecnológica e arranjos institucionais que obscurecem a relação entre o fornecimento de recursos urbanos e os ecossistemas que os sustentam. Nesse sentido, muitas vezes é indesejável ou inviável realizar uma avaliação de sistemas ecológicos ou sociais, de forma independente ou conjunta, em uma única escala e resolução no tempo e no espaço (Scholes et al., 2013). Devido à interdependência dos elementos nesses sistemas, os conflitos podem ser generalizados e levar a crises imprevistas e contínuas de modo que o conhecimento necessário para desenvolver a narrativa da Bioeconomia Circular deve ser obtido padronizando definições, pesquisando várias cadeias de valor e redes de base biológica em diferentes escalas e abordando modelos de negócios circulares resilientes (Krueger et al., 2022).

Por um lado, a descentralização da gestão de bioresíduos é um conceito essencial para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana. Uma rede de micro refinarias descentralizadas baseadas em resíduos biológicos pode integrar diferentes processos de agregação de valor por meio de processos físicos, químicos, bioquímicos e termoquímicos, permitindo um melhor planejamento, distribuição equitativa de recursos materiais e econômicos e maior participação cidadã. A gestão local e descentralizada de biorresíduos é capaz de beneficiar o meio ambiente e os ecossistemas e reduz o consumo de recursos (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Ubando et al., 2020). Por outro lado, as biorrefinarias integradas (ou seja, aquelas capazes de reciclar diferentes biorresíduos) são uma abordagem abrangente que auxiliam na criação de um padrão de desenvolvimento coordenado de governança política, mercado empresarial, organização comunitária e participação social (Conteratto et al., 2021; Duan et al., 2020)

6.3.3 *Nível 3 - Estratégias*

A governança requer um equilíbrio entre os diferentes interesses por parte dos atores e partes interessadas. Caso contrário, a assimetria de poder e influência entre os diferentes atores-chave pode levar à inércia da governança que impede uma ação efetiva de abordar questões socioecológicas. Na prática, os atores-chave muitas vezes decidem por si próprios com quem querem cooperar, o que querem alcançar e que formas de cooperação escolhem (Bodin, 2017). Nesse sentido, inúmeras barreiras podem afetar o desempenho e o potencial alternativo do Bioeconomia Circular Urbana. Conflitos entre atores podem minar valores

ecológicos, socioeconômicos e objetivos definidos (Calicioglu & Bogdanski, 2021; Ronzon & Sanjuán, 2020). Nesse sentido, as estruturas e instrumentos de políticas são fatores cruciais responsáveis por grande parte da evolução da narrativa.

Os instrumentos políticos incluem medidas coercivas e de controle, incentivos à inovação, mecanismos de precificação de produtos, medidas de informação, capacitação de atores e apoio ao investimento. Além disso, são necessários instrumentos estratégicos, que podem ser divididos em quatro categorias principais: (i) Legais, ou seja, mudanças necessárias nas regulamentações e padrões de qualidade para viabilizar e antecipar a comercialização de bioprodutos; (ii) Apoio a iniciativas voluntárias e requisitos para o setor público implementar a coleta de bioprodutos; (iii) Incentivos financeiros para investimentos privados em biorrefinarias; e (iv) financiamento público e privado de P&D (Zihare et al., 2021). As questões norteadoras para o nível estratégico são as seguintes: *Quais as principais diretrizes estratégicas que auxiliam a selecionar as ações que serão bem-sucedidas no sistema?*; *Quais práticas orientam uma abordagem sistemática para alcançar o objetivo definido e garantir o sucesso do processo?* A Tab. 6.3 destaca as principais estratégias para cada uma das oito categorias propostas capazes de resolver essas questões.

Tab. 6.3 - Nível de estratégias.

Categoria	Estratégias
Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas	✓ Redução das cargas de aterros sanitários (Mak et al., 2020) ✓ Identificação e minimização das emissões de GEE (Ladu & Morone, 2021) ✓ Valorização dos recursos naturais (Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021)
Produção	✓ Descentralizada em pequena escala (Zabaniotou, 2018); ✓ Prioridades na utilização da biomassa como alimentos e produtos farmacêuticos, vestuário (Muscat et al., 2021) ✓ Desenvolvimento de serviços de valor agregado (Salvador et al., 2021) ✓ Melhorar as etapas de bioconversão e processamento a jusante (Dupont-Inglis & Borg, 2018)
Desenvolvimento e organização do mercado	✓ Modelos de negócio dinâmicos e integrados (Donner et al., 2021) ✓ Logística flexível de entrada e saída (Donner et al., 2021) ✓ Economias de escala para clusters (Donner et al., 2021) ✓ inovação organizacional (Bröring et al., 2020) ✓ Integração de novos produtos em uma cadeia de valor existente (Bröring et al., 2020) ✓ Reduzir a dependência de partes interessadas externas (Salvador et al., 2021) ✓ Colaboração com diferentes parceiros, buscando sinergias (Donner et al., 2021) ✓ Gestão eficiente da cadeia de suprimentos (Zabaniotou, 2018)
Gestão de resíduos urbanos	✓ Utilização do conceito de simbiose industrial (Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021) ✓ Triagem de resíduos (Cong & Thomsen, 2021) ✓ Técnicas de recuperação de biorresíduos para reutilização (Duan et al., 2020) ✓ Aumentar o poder de negociação sobre as empresas que concorrem a contratos de gestão de resíduos (Duan et al., 2020)

	✓ Práticas para segregar diferentes tipos de resíduos para facilitar a reutilização, reciclagem ou compostagem (Mak et al., 2020)
Gestão de recursos naturais	✓ Reconexão das zonas urbanas e periurbanas (Muscat et al., 2021)
	✓ Agricultura familiar (Muscat et al., 2021)
	✓ Integração entre a agricultura urbana, agricultura familiar e biorrefinarias urbanas (Cong & Thomsen, 2021)
Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	✓ Apoio financeiro público à P&D (Zihare et al., 2021)
	✓ Financiamento e parcerias público-privadas (Ronzon & Sanjuán, 2020; Salvador et al., 2021)
	✓ Estabelecer parcerias com instituições de pesquisa (Ronzon & Sanjuán, 2020)
	✓ Rede interna da cadeia de fornecimento e informações compartilhadas entre as organizações (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Jarre et al., 2020)
	✓ Aumentar a conscientização e a aceitação entre consumidores e fabricantes sobre os bens e serviços fornecidos pela Bioeconomia (Calicioglu & Bogdanski, 2021; Duan et al., 2020; Dupont-Inglis & Borg, 2018; Lokesh et al., 2018; Morone et al., 2021; Salvador et al., 2021; Seigné-Itoiz et al., 2021)
	✓ Identificar e unir forças com atores ecoinovadores (Donner et al., 2021)
	✓ Tecnologias de desenvolvimento de captura e armazenamento de carbono (Muscat et al., 2021)
	✓ Manter o interesse público através de campanhas de sensibilização locais (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Morone et al., 2021)
	✓ Desenvolvimento de uma rede de parceiros estratégicos prontos para investir no desenvolvimento e prática de novas tecnologias (Donner et al., 2021)
	✓ Políticas energéticas e de recursos (Jarre et al., 2020)
Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	✓ Responsabilidade Social Corporativa (Mak et al., 2020)
	✓ compromisso do governo (Angouria-Tsorochidou et al., 2021)
	✓ Processos de tomada de decisão coordenados e participativos (D'Amato et al., 2020)
	✓ Melhorar o acesso ao financiamento de projetos de biorrefinaria (Dupont-Inglis & Borg, 2018)
	✓ Construir um quadro político integrado e comum (Francocci et al., 2020)
	✓ Taxas de reciclagem obrigatórias e incentivos às energias renováveis (Jarre et al., 2020)
	✓ Estratégia de energia renovável a longo prazo (Jarre et al., 2020)
Infraestrutura e tecnologia	✓ Promover sinergias e reduzir trade-offs entre os usos de biomassa, atendendo à crescente demanda por bens alimentares e não alimentares (Calicioglu & Bogdanski, 2021)
	✓ Avanços em Ciências Biológicas (Kardung et al., 2021)
	✓ Nível de prontidão tecnológica (Seigné-Itoiz et al., 2021)
	✓ Viabilidade técnica e econômica da biomassa (D'Amato et al., 2020)
	✓ Viabilidade técnica e econômica da biomassa (Kardung et al., 2021)
	✓ Desenvolver infraestruturas resilientes para promover a industrialização responsável (de Felice & Petrillo, 2021).

6.3.4 Nível 4 - Ações

Abordagens sustentáveis envolvem ideais normativos e pensamento antecipatório para desenvolver alternativas e ações futuras aceitáveis para realizar essas possibilidades. No entanto, os ecossistemas urbanos sendo interpretados como o centro da "natureza barata de Moore", em que "historicamente, a conservação tem se baseado amplamente nas

considerações de valor intrínseco [...]. Isso tem sido manifestamente insuficiente como resposta às crescentes ameaças à biodiversidade, particularmente nas regiões mais pobres do mundo, onde as considerações de valores intrínsecos e espirituais são muitas vezes superadas pelas necessidades de sobrevivência ou usadas para excluir segmentos significativos da população dos benefícios de seus recursos ecossistêmicos" (Reid et al., 2006, p. 749).

A partir dessa perspectiva, a Bioeconomia Circular reflete uma ênfase crescente na minimização da pegada ecológica. No entanto, reflete também um foco em tecnologias para explorar o valor ecológico e um potencial lucro (Taylor Buck & While, 2020). No entanto, uma visão exclusivamente bioecológica e tecnocêntrica que se concentra na eficiência e na produtividade dos sistemas, pode ignorar os impactos sobre os ecossistemas naturais, a biodiversidade, a saúde e o bem-estar humanos. Alguns produtos de base biológica podem não ser facilmente reutilizados, reciclados ou degradados, levando ao acúmulo de resíduos e à poluição. Além disso, alguns produtos de base biológica podem não ser acessíveis para todos os segmentos da sociedade, criando desigualdades e conflitos. Nesse sentido, a pesquisa abrange três questões norteadoras para o nível de ação: (i) *Quais ações e medidas compõem as ações priorizadas por uma governança em um plano estratégico?* (ii) *O plano estratégico é reavaliado quando as condições mudam?* (iii) *Houve um processo de aprendizagem ao longo do tempo à medida que o desenvolvimento progrediu?* A Tab. 6.4 destaca os princípios críticos para cada uma das oito categorias propostas no nível de ação.

Tab. 6.4 - Práticas à nível de ação.

Categoria	Práticas
Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas	✓ Mitigar e se adaptar aos efeitos da mudança climática reduzindo a poluição ambiental (Calicioglu & Bogdanski, 2021) ✓ Biorremediação (D'Amato et al., 2020; Muscat et al., 2021) ✓ Biossegurança (D'Amato et al., 2020; Muscat et al., 2021)
Produção	✓ Conversão sustentável de biomassa (Ronzon & Sanjuán, 2020) ✓ Circularidade/eficiência dos recursos/redução e gestão de resíduos (Ronzon & Sanjuán, 2020) ✓ Melhorar a densidade energética das matérias-primas no tratamento descentralizado (Duan et al., 2020) ✓ Promover o uso de coprodutos de processamento (Dupont-Inglis & Borg, 2018)
Desenvolvimento e organização do mercado	✓ Criar um ambiente de investimento estável (Duan et al., 2020) ✓ Criar/desenvolver novos mercados (Salvador et al., 2021) ✓ Desenvolver/localizar segmentos de clientes (Salvador et al., 2021) ✓ Definir sistemas logísticos ideais (Salvador et al., 2021) ✓ Busca por rótulos ecológicos (Ladu & Morone, 2021) ✓ Previsão de cenário de desenvolvimento que promova negócios e investimentos (Francocci et al., 2020)

Gestão de resíduos urbanos	✓ Melhorias nos sistemas de recolha (Cong & Thomsen, 2021)
	✓ Triagem de resíduos (Cong & Thomsen, 2021);
	✓ Tratamento de águas residuais (Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021)
	✓ Técnicas de valorização de biorresíduos para reutilização (Duan et al., 2020)
	✓ Compostagem (Mak et al., 2020; Otto et al., 2021)
Gestão de recursos naturais utilizáveis	✓ Aumentar o poder de negociação entre as empresas que concorrem a contratos de gestão de resíduos (Duan et al., 2020)
	✓ Melhorar a separabilidade e a biodegradabilidade dos materiais de base biológica (Navare et al., 2021)
	✓ Reduzir a presença de substâncias perigosas nas emissões para o ambiente (Navare et al., 2021)
	✓ Aumentar o retorno dos nutrientes no local e a uma taxa que suporte a regeneração do ecossistema (Navare et al., 2021);
	✓ Descarga zero e consumo responsável (Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021)
	✓ Gestão sustentável dos recursos naturais e dos ecossistemas (D'Amato et al., 2020; Ronzon & Sanjuán, 2020)
	✓ Remodelação do arranjo elétrico e descarga de águas residuais (Mak et al., 2020)
	✓ Incentivos à reciclagem/reutilização de materiais (Jarre et al., 2020; Otto et al., 2021)
	✓ Desenvolver sistemas de distribuição de água que minimizem o desperdício (Salvador et al., 2021)
Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	✓ Apoiar a pesquisa, desenvolvimento, inovação e colocá-las em prática para acelerar a implantação de uma Bioeconomia sustentável (Calicioglu & Bogdanski, 2021);
	✓ Engenharia genética e metabólica de microrganismos (Duan et al., 2020)
	✓ Melhorar a monitorização dos sistemas bioecológicos (Duan et al., 2020)
	✓ Formação de redes dentro da cadeia de suprimentos e informações compartilhadas entre organizações (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Jarre et al., 2020)
Políticas, estratégias e legislação	✓ Melhorar o acesso ao financiamento para projetos de recuperação de biorresíduos (Dupont-Inglis & Borg, 2018);
	✓ Construir uma estrutura política integrada e comum (Francocci et al., 2020);
	✓ Fornecer incentivos financeiros para investimentos privados (Zihare et al., 2021);
	✓ Apoiar iniciativas e exigências para o setor público com relação à implementação da coleta de bioresíduos (Zihare et al., 2021);
	✓ Qualidade do processo de coleta, triagem e mão-de-obra para monitoramento e triagem manual (Jarre et al., 2020; Mak et al., 2020);
	✓ Incentivar a eficiência dos recursos biológicos e do solo (Calicioglu & Bogdanski, 2021)

6.3.5 *Nível 5 - Indicadores*

Muitos indicadores podem medir diferentes características de desenvolvimento, no entanto, medir o desenvolvimento da economia de base biológica requer quantificar uma série de indicadores para determinar seus impactos econômicos e socioecológicos (Kardung & Drabik, 2021). De acordo com as ideias de Sen (2009), os indicadores tradicionais não são suficientes para considerar adequadamente fatores que influenciam o desenvolvimento sustentável, como o capital humano, a mudança estrutural nas instituições políticas e a mudança cultural, e também falham em medir, revelar e explicar outros aspectos sociais importantes, como desigualdade, qualidade de vida, impacto ecológico e outros valores de

bem-estar. Os sistemas de base biológica são combinações complexas de tecnologias e práticas, geograficamente dispersas por grandes distâncias, com indicadores e resultados heterogêneos e muitas vezes ambíguos. Medir o progresso circular em direção à Bioeconomia requer, portanto, quantificar múltiplas variáveis que determinam os impactos estáticos e dinâmicos da criação de valores socioeconômicos e conservação do capital natural (Sevigné-Itoiz et al., 2021).

Nesse sentido, os indicadores devem auxiliar a rastrear como áreas verdes e construídas contribuem para o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos e bem-estar humano. Os valores dos indicadores podem informar decisões e ações e fornecer argumentos convincentes para que os tomadores de decisão nas administrações urbanas considerem, por exemplo, ao alocar orçamentos (Kabisch et al., 2016). Um dos principais pré-requisitos para o desenvolvimento de índices confiáveis é a definição de indicadores direcionados. Um indicador é uma medida ou métrica baseada em dados verificáveis que condensam a complexidade e transmitem informações. Nesse sentido, os indicadores podem medir, analisar, monitorar e comunicar a eficácia do desenvolvimento sustentável dos ecossistemas urbanos e suas características. Nesse sentido, estruturas robustas de avaliação são necessárias para fornecer aos formuladores de políticas informações transparentes e organizadas sobre a aplicabilidade de políticas concorrentes e complementares, justificando as escolhas feitas, delineando as implicações das políticas e oferecendo argumentos e padrões para julgá-las (Garrido et al., 2008; Summers et al., 2012).

Esforços foram feitos na modelagem de sistemas dinâmicos para lidar de forma otimizada com os ecossistemas urbanos, mas poucos modelos incorporaram conceitos circulares. No entanto, além das métricas baseadas em produtos, são necessárias métricas baseadas em sistemas para determinar o nível máximo de emissões que os ecossistemas de cada região podem acomodar (Muscat et al., 2021). Portanto, os indicadores de circularidade para uma economia de base biológica requer definições de biodegradabilidade e alternativas de “fim-de-vida”, mais importante, a complexidade e a interdependência dos ecossistemas devem ser consideradas, por exemplo, a competição entre alimentos, combustível e outras fontes de energia. A questão norteadora para o nível do indicador é: *Que medidas podem ser usadas para avaliar as ações para ver se elas são de fato estratégicas para o sucesso de um sistema?* A Tab. 6.5 destaca os indicadores críticos para cada uma das oito categorias propostas.

Tab. 6.5 - Indicadores para cada categoria proposta.

Categoria	Indicador
Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas	✓ Potencial de aquecimento global (Mak et al., 2020) ✓ Consumo de recursos fósseis (Yang et al., 2021) ✓ Emissão de gases efeito estufa (Yang et al., 2021) ✓ Perdas de habitat e biodiversidade (Ladu & Morone, 2021; Yang et al., 2021)
Produção	✓ Consumo e potencial de biomassa (de Felice & Petrillo, 2021; Liobikiene et al., 2019; Zabaniotou, 2018) ✓ Taxa de autossuficiência em biomassa (Kardung et al., 2021) ✓ Alocação de biomassa (Zabaniotou, 2018)
Desenvolvimento e organização do mercado	✓ Receita Limpa (de Felice & Petrillo, 2021); ✓ Contratos públicos ecológicos (Mak et al., 2020) ✓ Valor acrescentado dos sectores da Bioeconomia (Calicioglu & Bogdanski, 2021); ✓ Oportunidades de emprego (Yang et al., 2021) ✓ Presença de organizações de cluster que coordenam, gerenciam e facilitam os “bioclusters” (Donner et al., 2021)
Gestão de resíduos urbanos	✓ Reciclagem de Biorresíduos (Mak et al., 2020) ✓ taxa de reciclagem de resíduos municipal (Kardung & Drabik, 2021) ✓ Uso e eficiência da água (Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021; Wohlfahrt et al., 2019) ✓ Taxa de recuperação de materiais reciclados derivados de uma coleta seletiva (Cong & Thomsen, 2021; Fava et al., 2021) ✓ Taxa de recuperação de materiais derivados do tratamento de águas residuais municipais e esgoto (Fava et al., 2021)
Gestão de recursos naturais utilizáveis	✓ Impacto ambiental para os ciclos biológicos (Navare et al., 2021) ✓ Uso e eficiência da água (Yang et al., 2021) ✓ Captura, armazenamento, sequestro ou eliminação de gases com efeito de estufa (Zihare et al., 2021) ✓ Avaliação do uso do solo (Bezama et al., 2019)
Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes	✓ Patentes em Biotecnologia (de Felice & Petrillo, 2021; Liobikiene et al., 2019b) ✓ Concentração de pesquisadores (de Felice & Petrillo, 2021) ✓ Subsídios em investimentos em P&D (Liobikiene et al., 2019) ✓ Despesas anuais em investigação e desenvolvimento (de Felice & Petrillo, 2021) ✓ Qualificação, profissionalização e conscientização da força de trabalho para a Bioeconomia (Duan et al., 2020; Mak et al., 2020; Ronzon & Sanjuán, 2020; Sevigné-Itoiz et al., 2021; Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021; Yang et al., 2021) ✓ Treinamento, workshops, cursos educacionais e campanhas para normalizar escolhas sustentáveis (Angouria-Tsorochidou et al., 2021; Muscat et al., 2021)
Políticas, estratégias e legislação	✓ Relação entre investimentos potenciais (Zabaniotou, 2018) ✓ Políticas de gestão da Bioeconomia (Kardung et al., 2021) ✓ Eficiência terciária (de Felice & Petrillo, 2021) ✓ Iniciativas específicas em vigor para combater as emissões de gases efeito estufa (Ladu & Morone, 2021) ✓ Transparência nos subsídios (Duan et al., 2020)
Infraestrutura e tecnologia	✓ Limiares de sustentabilidade para as tecnologias da Bioeconomia (Kardung et al., 2021) ✓ Tecnologias de adaptação relacionadas com a água e as águas residuais (Zihare et al., 2021) ✓ Tecnologias de mitigação das alterações climáticas na produção e/ou transformação de bens (Zihare et al., 2021) ✓ Capacidade de inovação (de Felice & Petrillo, 2021)

6.4 Framework teórico

No desenvolvimento de um caminho em direção a um futuro sustentável, é imprescindível adotar uma compreensão rigorosa e realista da narrativa subjacente à Bioeconomia Circular, bem como reconhecer a necessidade de empregar ferramentas quantitativas para o planejamento e a concepção de abordagens confiáveis (Holden et al., 2022). Para o desenvolvimento de uma visão bioecológica da Bioeconomia Circular, é imperativamente essencial alcançar um equilíbrio entre a capacidade de produção considerando os limites planetários, o carbono biogênico, e a demanda por materiais, energia e produtos. Nesse sentido, a governança, a política, os recursos, a pesquisa e os esforços devem ser dedicados a adoção da biocircularidade, um princípio orientado a romper a conexão entre o crescimento econômico e a exaustão dos recursos, ao mesmo tempo em que reconhece o valor dos ecossistemas naturais e dos serviços que sustentam a bioeconomia. A relação entre governança e Bioeconomia Circular é complexa e multifacetada, envolvendo diferentes níveis, setores, interesses e valores. No âmbito da governança, alguns dos principais aspectos incluem a coerência de políticas, o engajamento das partes interessadas, a promoção da inovação e a adaptabilidade do sistema de governança. A coerência de políticas visa alinhar as políticas em diferentes níveis e domínios para apoiar os objetivos da Bioeconomia Circular. O engajamento das partes interessadas envolve a participação de atores relevantes para promover a colaboração e o aprendizado. A promoção da inovação busca desenvolver e difundir novas tecnologias, modelos de negócios e práticas para a transição para a Bioeconomia Circular. A adaptabilidade é importante para responder a mudanças, incertezas e experimentar soluções. Esses aspectos são cruciais para a governança efetiva e a promoção do avanço da narrativa, abordando os desafios socioeconômicos e ecológicos de forma sustentável.

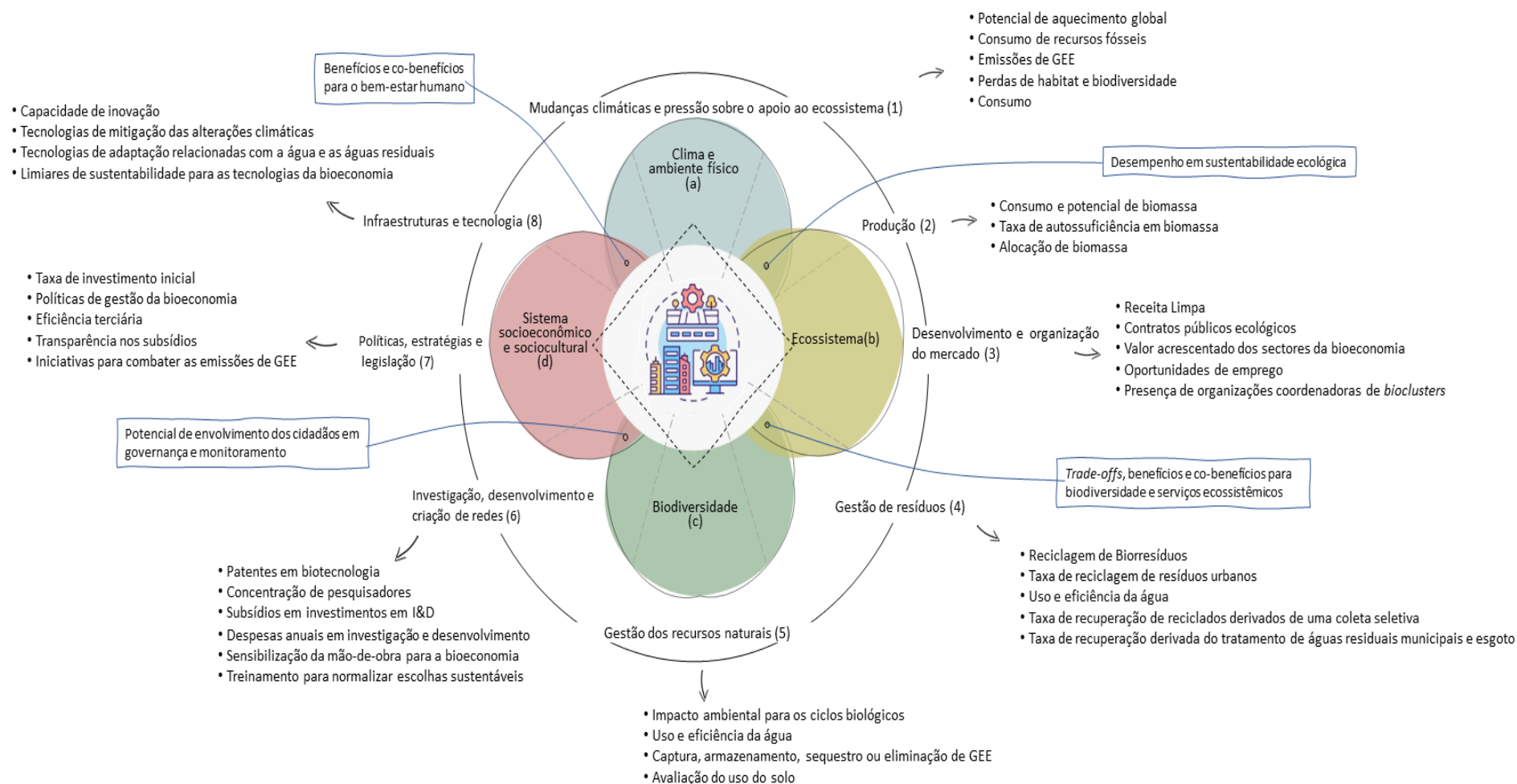
As NbS foram atormentado por críticas ao antropocentrismo em que as necessidades humanas são priorizadas sobre as de outras espécies e ecossistemas (Maller, 2021). Para superar essa questão, a pesquisa sugere como os conceitos relacionais a uma visão bioeconômica podem auxiliar no desenvolvimento das NbS. Na prática, o *Framework* proposto partiu do ponto de vista e do pensamento de lutar por espaços "ecocêntricos" que reconheçam, incluam e atuem para a preservação das espécies não humanas. Podendo resultar em uma mudança de foco da concepção e implementação das infraestruturas verdes

e estratégias de gestão da biodiversidade para políticas multissetoriais orientadas para soluções e estratégias que abordam o desenvolvimento.

As discussões sobre questões socioecológicas estão enraizadas na relação entre a biodiversidade e bem-estar. Sua importância decorre de seu potencial em enfrentar desafios complexos como mitigação das mudanças climáticas, qualidade do ar, gestão da água, planejamento participativo e governança. A partir dessa perspectiva, as características das Ness relacionados a sua capacidade de agregar valor e multifuncionalidade, podem fornecer serviços ecossistêmicos de forma sustentável. No entanto, para que essas soluções sejam efetivas, uma compreensão da conservação do capital natural deve ser alcançada para alavancar o poder dos ecossistemas naturais construídos como uma infraestrutura para fornecer serviços ecossistêmicos que crie valores sócioeconômicos, transformando desafios em oportunidades de desenvolvimento (Kabisch et al., 2016; Xie et al., 2022).

A dimensão do clima e do ambiente físico refere-se aos fatores abióticos que moldam as condições e os processos naturais de um determinado lugar, como temperatura, precipitação, solo, água e qualidade do ar. Essa dimensão afeta o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas e da biodiversidade, bem como a exposição e a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e culturais aos riscos climáticos. A dimensão do ecossistema refere-se aos componentes bióticos de um determinado sistema. Essa dimensão fornece serviços ecossistêmicos que apoiam o bem-estar humano e a conservação da biodiversidade, como produção de alimentos, regulação da água, polinização, controle de pragas e recreação. A dimensão da biodiversidade refere-se à variedade da vida em todos os níveis de organização. Essa dimensão contribui para o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas, bem como para os valores estéticos, éticos e culturais da sociedade. A dimensão do sistema socioeconômico refere-se aos aspectos humanos de um determinado local, como população, renda, educação, saúde, governança, infraestrutura e tecnologia. Essa dimensão influencia a demanda e a oferta de serviços ecossistêmicos, bem como a distribuição de custos e benefícios entre diferentes grupos (Cohen-Sacam et al., 2016). A Fig. 6.2 ilustra a estrutura abrangente que estabelece sistematicamente como a Bioeconomia Circular pode sinergizar serviços ecossistêmicos para áreas urbanas e os indicadores das categorias.

Fig. 6.2 - Framework teórico da Bioeconomia Circular Urbana



* O Framework considera as dimensões das soluções baseadas na natureza; a tipologia proposta; as compensações, benefícios e co-benefícios do desempenho da sustentabilidade ecológica entre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos; o potencial de envolvimento do cidadão na governança; benefícios para o bem-estar humano; e os indicadores de cada categoria.

7. ÍNDICE COMPOSTO PARA O DESENVOLVIMENTO BIOECONOMIA CIRCULAR URBANA NACIONAL

As estruturas de avaliação fornecem aos formuladores de políticas públicas informações transparentes e organizadas sobre a aplicabilidade de políticas concorrentes e complementares, justificando as escolhas e delineando assim, implicações, argumentos e padrões para julgá-las de maneira mais assertiva (Garrido et al., 2008; Summers et al., 2012). O uso de indicadores é essencial devido sua capacidade de traduzir dados, valores e informações relevantes. Isto permite quantificar aspectos que representam impactos em nossa vida cotidiana e dar um significado mais tangível a fatores muitas vezes abstratos, como os níveis relacionados à qualidade de vida ou a vulnerabilidade de uma população. Na prática, os indicadores organizam e sistematizam uma ampla gama de dados permitindo a detecção de fenômenos temporais e espaciais como por exemplo, a observação e análise de cenários, o monitoramento de ações governamentais e a avaliação das políticas públicas (Dussek & Rist, 2004). Com o avanço das tecnologias, as informações disponíveis para os formuladores de políticas e tomadores de decisão se tornaram mais abundantes, mas também mais diversificados e complexos. Entretanto, a falta de qualidade dos dados, combinada com possíveis lacunas, limita a capacidade dos governos locais de desenvolver políticas mais eficientes e inclusivas. Da mesma forma, a proliferação de diferentes fontes e formatos apresenta desafios para a integração, interoperabilidade e padronização. Nesse sentido, os formuladores de políticas precisam adotar uma abordagem orientada por dados que garanta a qualidade, a pontualidade e a usabilidade dos dados para a tomada de decisões (Wiest & Samuels, 2020; Hwang et al., 2021).

Apesar do uso de indicadores serem uma ferramenta bem estabelecida, relatar um grande número de indicadores de forma aleatória acaba deixando em aberto a questão de como medir o desempenho agregado de um âmbito específico ou sistema, de modo que mensurar apenas pontuações individuais podem resultar em um “*cherry parking*”, ou seja, na falácia de evidências incompletas ao apontar para dados individuais que parecem confirmar uma posição específica, ignorando uma parte significativa de dados relacionados e semelhantes que podem contradizer essa posição (Morse, 2010). Nesse sentido, o desenvolvimento e utilização de um índice composto pode sintetizar informações complexas e serem mais eficazes em estimular debates para o alcance de metas integradas (Schmidt-Traub et al., 2017). Em cenários de avaliação em que múltiplos atores são responsáveis pelas

tomadas de decisões e em que os vários sistemas de valores, frequentemente divergente, as decisões devem ser conciliadas a fim de superar a necessidade de apoio intrínseca para atingir objetivos complementares. Embora os índices compostos sejam amplamente utilizados em campos de pesquisa como economia e ciências da vida, o monitoramento, modelagem e avaliação das trajetórias de desenvolvimento da Bioeconomia têm sido pouco explorado (Wei et al., 2022). A proposição de um Índice composto para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana, tem como finalidade apresentar um conjunto de dados técnicos de forma simples e compreensível para que os tomadores de decisão à nível local possam adotar seu *design* e aplicar a metodologia proposta, resultando em uma ferramenta prática e eficaz para a gestão pública e a ação política para o desenvolvimento de uma Economia Circular de base biológica à nível local. O objetivo técnico em criar um modelo de valor coeso é sintetizar os diferentes pontos de vista sobre o tema em questão, de modo que as metas individuais criem juízos de valor compartilhados.

7.1 Definindo as bases para o desenvolvimento da estrutura Colaborativa de valor

As fases de estruturação e construção foram desenvolvidas em uma sequência de processos de grupo não presenciais. A Tab. 7.1 sintetiza e detalha cada uma das tarefas da estrutura de Modelagem desenvolvidas.

Tab. 7.1 - Principais tarefas no decorrer de cada etapa do desenvolvimento.

Etapas	Tarefas
Design do processo	- Definir o problema de avaliação identificando seu domínio e escopo; - Selecionar as atividades nas quais o estágio <i>Web-Delphi</i> será implementado; - Identificar e selecionar os atores e especialistas que estarão envolvidos, respectivamente, nos estágios de conferência de decisão <i>Web-Delphi</i> e análise de decisão multicritério; - Selecionar os métodos e sistemas de suporte à decisão a serem usados durante os estágios de conferência <i>Web-Delphi</i> e análise multicritério;
Web-Delphi	- Definir os critérios e processos (número de rodadas, critérios de encerramento, protocolos de elicitação de valor individual, <i>feedback</i>); - Implementar os processos como projetado; - Sintetizar as respostas individuais entre as rodadas destacando os pontos convergentes e divergentes; - Preparar relatórios resumidos e/ou <i>Web-Delphi</i> pós-avaliação;
Conferência de decisão multicritério	- Projetar atividades técnicas de conferência de decisão, protocolos de elicitação de valor de grupo para o <i>MACBETH</i>; - Preparar uma apresentação visual dos resultados das rodadas <i>Web-Delphi</i> (e evidências científicas adicionais e dados quando necessário); - Implementação das atividades técnicas multicritério, protocolos de elicitação de valores; - Implementação de procedimentos de decisão <i>MACBETH</i>; - Preparação de relatórios que documentam os resultados do processo de conferência de decisão multicritério;

Fonte: adaptado de Vieira et al. (2020).

7.2 Design do processo sociotécnico

Os cenários de avaliação de múltiplos atores são caracterizados por um alto grau de incerteza e, portanto, o desenho do processo precisa partir de definições claras do problema de avaliação e identificação de seu domínio e escopo. Determinar antecipadamente tais atividades permite desenhar um processo integrado e estabelecer uma noção clara dos objetivos individuais (Vieira et al., 2020). O desenho do processo enfatiza que um grande e diversificado painel de participantes esteve envolvido no processo colaborativo de construção de conhecimento durante a seleção dos indicadores utilizando o processo *Web-Delphi*. Tal desenho de processo levou em conta o fato de que a natureza subjetiva de um modelo de valor o torna dependente dos sistemas de valor proposto pelo painel de especialista; como resultado, quanto mais interativo e participativo for o processo de modelagem de valor, mais estáveis e robustos serão os modelos construídos (Oliveira et al., 2019). O objetivo é desenvolver um processo de tomada de decisão que leve em consideração as perspectivas de todos os atores e partes interessadas envolvidas a fim de criar um modelo que seja capaz de representar de maneira justa e equilibrada todas essas perspectivas, além das perspectivas individuais dos próprios atores.

Diferentes pontos de vista podem trazer diversos benefícios e o desenvolvimento de políticas públicas capazes fornecer informações e evidências relevantes, identificando suas causas, consequências e na proposição de possíveis soluções. A pesquisa científica oferece dados empíricos e análises que podem informar escolhas políticas e avaliar seus impactos assim como a experiência profissional pode oferecer aconselhamento técnico e recomendações práticas que podem melhorar a qualidade e a viabilidade das propostas de políticas (Hautamäki, 2022). Nesse sentido, diferentes pontos de vista podem aumentar a legitimidade e a aceitabilidade de uma questão e de uma política, garantindo que atendam às necessidades e preferências das partes interessadas mais afetadas. Ao envolver vários atores e partes interessadas no processo político, as autoridades públicas podem obter uma melhor compreensão de suas expectativas, demandas e preocupações e abordá-las de maneira adequada. Ao dar voz a diferentes opiniões e interesses, as autoridades públicas podem promover um senso de propriedade e responsabilidade entre os participantes e aumentar sua confiança e apoio aos resultados (Lockwood et al., 2010). Além disso, diferentes pontos de vista podem enriquecer a deliberação e o debate sobre uma questão, expondo os participantes a perspectivas, argumentos e valores alternativos. Ao dialogar e discutir com pessoas com

diferentes formações, experiências e crenças, os participantes podem aprender uns com os outros, desafiar suas próprias suposições, esclarecer suas posições e encontrar um compromisso comum. Isso pode levar a decisões mais informadas, fundamentadas e equilibradas que levem em conta a complexidade e diversidade do tema em questão (Cohen et al., 2020).

Conforme proposto no escopo de pesquisa, o Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana, deve avaliar as possibilidades de implementação das práticas da Bioeconomia Circular e identificar as necessidades de intervenções políticas a fim de mensurar e elaborar estratégias para superar questões transversais a nível local. O processo de estruturação teve início com a realização de uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar áreas de preocupação, dimensões e indicadores-chave. Em seguida, foram convidados participantes para o processo de avaliação a fim de discutir a relevância desses indicadores e sua capacidade de mensurar as questões que deveriam ser abordadas utilizando o método *Delphi*. Para o painel *Delphi* foram convidados atores e partes interessadas de organizações da sociedade civil, profissionais, representantes do setor privado, cientistas, acadêmicos e sociedade civil. Os participantes do Painel *Delphi* foram previamente selecionados com o objetivo de serem representativos dos pontos de vista relevantes a fim de melhorar a eficácia do grupo ao lidar com questões complexas e conflitantes relacionadas ao escopo de pesquisa, ou seja, Bioeconomia, Economia Circular, gestão de resíduos, urbanização, ciências sociais, engenharia e sociedade civil.

Considerando que o processo *Web-Delphi* é uma técnica de aquisição de conhecimento e que seu objetivo na presente pesquisa não é necessariamente atingir um determinado nível de concordância, o número máximo de rodadas foi estipulado em três, garantindo que a estabilidade dos resultados possa ser avaliada. O Painel obteve uma participação significativa, com uma alta taxa de envolvimento dos participantes. Na primeira rodada do processo *Delphi*, um total de 70 participantes completaram a etapa de elicitação. Na segunda rodada, houve a participação de 56 participantes, dos quais 45 se mantiveram engajados até a terceira e última rodada. Na última rodada, os participantes foram solicitados a definir a função de valor que cada indicador deveria assumir, bem como fornecer possíveis observações e sugestões para a exclusão e/ou inclusão de indicadores que não haviam sido previamente estabelecidos. A síntese do conhecimento individual de julgamento no processo

Web-Delphi tem como objetivo garantir aos especialistas que participarão do processo de decisão informações abrangentes, as quais são uma parte fundamental dos dados de entrada para as conferências de decisão multicritério. Essa síntese e a subsequente discussão visam impulsionar a construção do modelo multicritério, permitindo que os especialistas convidados tenham acesso ao conhecimento de julgamento, informando-os sobre o que um grupo ampliado concorda que deve ser considerado.

Utilizando o protocolo de elicitação de valor *Macbeth*, um grupo estratégico de 12 especialistas (decisores) no desenvolvimento de práticas relacionadas à uma Bioeconomia no cenário nacional, foram convidados a fazer seus julgamentos no processo de conferência de decisão multicritério. Este conhecimento adquirido formou a definição final das funções para definir os valores e pesos para cada descritor e para cada um dos indicadores a partir do julgamento entre a diferença de atratividade entre dois níveis de desempenho. A descrição dos especialistas que participaram do processo de decisão de análise multicritério *Macbeth* é resumida na Tab. 7.2.

Tab. 7. 2 - Grupo selecionado de especialistas para avaliação e ponderação dos indicadores.

	Descrição
Especialista 1	Doutor em Bioeconomia, experiência em pesquisas em biocombustíveis e bioprodutos
Especialista 2	Doutor em Engenharia química, experiência em planejamento estratégico, mudanças Climáticas e políticas públicas
Especialista 3	Doutor em economia, especialista em políticas públicas, microfinanças e desenvolvimento social
Especialista 4	Mestre em Geologia, especialista em ciência de Dados Espaciais
Especialista 5	Doutor em pesquisa e meio ambiente, experiência em gerenciamento de resíduos e recuperação de recursos
Especialista 6	Doutor em conservação da biodiversidade em unidades em conservação, experiência em consultoria para iniciativas de conservação da natureza
Especialista 7	Bioteecnologista com mestrado em ciências biológica, experiência em pesquisa nas áreas de ciências de materiais
Especialista 8	Economista e especialista no desenvolvimento de cadeias produtivas sustentáveis;
Especialista 9	Doutor em Agronegócios, experiência em pesquisas para o desenvolvimento de biorrefinarias
Especialista 10	Mestrado em desenvolvimento regional e urbano, cursando doutorado Engenharia Industrial
Especialista 11	Engenharia Química com especialização na cadeia produtiva do biogás. Experiência com projetos de energia renovável e P&D
Especialista 12	Urbanista com especialização em estratégias bioclimáticas e conservação de energia

7.3 Critérios de seleção dos indicadores

Grande parte dos indicadores previamente identificados para compor o Índice Composto foram resultados da revisão sistemática de literatura (ver subseção 6.3.5). Entretanto, durante os processos de elicitação, alguns indicadores além dos identificados na

literatura foram selecionados para compor o Índice enquanto outros foram abolidos ao longo do processo de estrutura Colaborativa de valor. Os resultados, foram então transferidos e extrapolados para em uma tentativa de adequá-los aos parâmetros do cenário nacional, usando indicadores já estabelecidos. Por um lado, a utilização de indicadores estabelecidos traz uma série de vantagens significativas. Uma das principais vantagens é a confiabilidade proporcionada pela sua base de experiência comprovada, o que garante sua validade e relevância, oferecendo maior segurança ao utilizá-los em suas análises e tomadas de decisão (Bello y Villarino, 2021). A disponibilidade de um histórico consistente de dados é outra vantagem, sendo possível acompanhar o desempenho ao longo do tempo e identificar tendências. Isso permite uma análise mais precisa do progresso, a identificação de problemas recorrentes e a avaliação da eficácia de estratégias e políticas implementadas ao longo do tempo (Becker, 2004; Vogt et al., 2011). Por outro lado, o desenvolvimento de novos indicadores também se tornou uma necessidade crítica para o desenvolvimento do Índice Composto para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana. Embora o processo de criação de novas métricas e sua aplicação exijam tempo, recursos e expertise significativos, investir esforços para essa tarefa se tornou uma tarefa essencial. Seguindo as convicções de Chesbrough (2016), o desenvolvimento de novos indicadores ainda não estabelecidos proporcionam a medição mais precisa de fenômenos específicos, permitindo aumentar o foco em áreas críticas que requerem atenção especial. Ao introduzir novos indicadores, é possível capturar nuances e aspectos relevantes que podem não ter sido considerados anteriormente. Isso amplia a compreensão dos fenômenos em estudo e fornece informações mais detalhadas e precisas para a tomada de decisões (Engle et al., 2014).

Ao longo da pesquisa, sempre que possível, para os indicadores já estabelecidos foram utilizados dados oficiais, como, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). No entanto, também foram utilizados dados não oficiais, como é o caso do indicador "Emissões de CO₂", que tem como base o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Nesse caso, os dados são obtidos de iniciativas de organizações não governamentais em conjunto com uma rede de cooperação envolvendo outras instituições privadas. A coleta de dados dos indicadores considera dados para o período 2002 a 2021. A escala geográfica à nível municipal para análise foi escolhida por ser a unidade estatística alinha com o escopo de pesquisa e com relatórios de dados oficiais.

Para o desenvolvimento de parâmetros para construção dos descritores, foi realizada uma análise exploratória para cada indicador de forma a identificar limites e limiares superiores e inferiores assim como a existência de lacunas de dados. Labreuche et al., (2015) descrevem que os níveis de referência para um indicador correspondem a escalas de intervalo construídas a partir de transformações com dois graus de liberdade. No entanto, para a maioria dos indicadores selecionados para compor o Índice, não existem funções de valores estabelecidas nas políticas públicas nacionais. Desta forma, para que fosse possível determinar a escala foi necessário fixar "âncoras" para cada um dos indicadores. Para estabelecer os limites superiores e inferiores e posteriormente criar os descritores utilizados como referência para a conferência de decisão multicritério *Macbeth*, utilizamos os seguintes critérios estipulados por Schmidt-Traub et al. (2017): (i) usar os limiares quantitativos descritos recomendados pela organização das nações unidas; (ii) quando existirem metas baseadas em estudos científicos, usá-las para os limites superiores e; (iii) utilizar a média dos cinco municípios com o melhor (e o pior) desempenho para definir os limites superiores e inferiores. De acordo com Costa et al. (2019), nos casos em que fosse impossível obter dados quer de outro nível geográfico, quer de outro ano ou fonte de dados, os valores dever ser estimados, considerando a distribuição da população e os valores de outras cidades com as mesmas características; ou atribuído, considerando valores regionais com características geográficas, políticas, sociais e econômicas semelhantes. Para todos os indicadores, quando pertinente, foram excluídos os *outliers* para calcular essas médias.

7.4 Modelagem de valor utilizando o método *Delphi*

O uso do Modelo *Web-Delphi* como um processo inicial de elicitação de valor teve um duplo objetivo. Primeiramente, buscou-se obter perspectivas de um amplo espectro de partes interessadas, caracterizados por suas variadas formações. Além disso, houve a intenção de selecionar membros da sociedade de maneira abrangente, tendo em vista a vasta extensão geográfica nacional. Nesse cenário, a pesquisa visa garantir que o painel Delphi seja o mais representativo possível, com o propósito de considerar devidamente a relevância dos indicadores identificados. Em segundo lugar, tivemos a intenção de os expor a pontos de vista alternativos, permitindo que os participantes interagissem e reconsiderassem suas respostas com base em um *feedback* controlado.

Antes de iniciarmos o questionário, elaboramos uma "carta-convite" (ver Fig. D1) que especificava os parâmetros e características do método, o objetivo da pesquisa, o prazo

para envio das respostas e a data de envio da próxima rodada de perguntas, o tempo necessário para responder questionário e um termo de consentimento. As perguntas foram enviadas aos participantes por meio da plataforma web de pesquisa *QuestionPro*. Durante o processo de elicitación, entre as rodadas 1 e 2, resumimos as respostas individuais dos participantes. Para fazer isso, combinamos estatísticas e resumos qualitativos na forma de comentários, que ofereceram *insights* para uma segunda rodada sobre as respostas dos demais participantes a fim de estimular o pensamento crítico e permitir que outros participantes a possibilidade de opiniões alternativas em um ambiente de julgamento compartilhado. O objetivo da segunda rodada foi proporcionar aos participantes a opção de confirmar ou alterar suas opiniões à luz das informações fornecidas, representando uma tarefa de aprendizagem coletiva. Além disso, *insights* importantes sobre a exclusão ou inserção de novos indicadores foram consideradas. Uma terceira e última rodada forneceu aos participantes os resultados da segunda rodada e proporcionou uma última oportunidade para os participantes manterem ou alterarem suas respostas. As rodadas 2 e 3 também permitiram que os participantes refletissem sobre a distribuição das respostas na forma de comentários qualitativos. Essa discussão ajudou os participantes a desafiar ou consolidar suas crenças iniciais e, eventualmente, chegar a uma base de conhecimento compartilhada sobre as formas de função de valor, além de gerar *insights* para os pesquisadores e, posteriormente, servir de entrada para o processo de conferência de decisão multicritério.

7.5 Conferência de decisão multicritério

Phillips & Bana e Costa (2007, p.1) definem uma conferência de decisão como uma *“reunião de atores-chave que desejam resolver questões importantes, auxiliados por um facilitador imparcial, especialista em análise de decisão e que atua como consultor de processos, usando um modelo de dados relevantes e julgamentos criados no local para ajudar o grupo a pensar com mais clareza sobre os problemas”*. Considerando esse conceito, o protocolo de elicitación de valor *Macbeth* foi utilizado durante a fase de conferência de decisão para atingir um grupo específico de atores-chave. Para orientar a definição das funções de valor, elaboramos uma síntese dos valores de julgamento obtidos durante o processo *Web-Delphi*, que incluiu estatísticas sobre os indicadores que os participantes alcançaram na forma de uma função de valor. Esses dados foram preparados para dois propósitos. Por um lado, os membros do grupo de especialistas foram posicionados como a "audiência" dos dados previamente adquiridos, com base no conhecimento adquirido por

meio do Método *Delphi*; e, por outro lado, poder recorrer a informações recolhidas de um grupo maior e representativo, evitando a armadilha de considerar apenas perspectivas estreitas por meio da própria opinião.

A abordagem *Macbeth* foi escolhida para construir o modelo de valor aditivo que exige requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade para quantificar o valor relativo em cada critério, categoria e pesos globais. Assim, o método não requer algoritmos adicionais para determinar os coeficientes de ponderação dos critérios, devido a um algoritmo especial baseado em programação linear (Gokasar et al., 2023). Uma das particularidades do modelo *Macbeth* tradicional é que não são permitidas inconsistências na definição dos pesos, portanto, existe a necessidade de que todos os 12 especialistas chegassem a um consenso entre as diferenças de atratividade. A sua utilização foi apoiada pelo *software* de apoio à decisão *M-Macbeth*. Para cada indicador estabelecido, foi atribuído um conjunto de descritores de desempenho, ou seja, um conjunto ordenado de níveis de desempenho plausíveis, que torna o indicador operacional para avaliar as características da Bioeconomia Circular Urbana.

7.6 Indicadores selecionados para o Índice composto de desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana

Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas de suporte (MC_1)

- *Domicílios em aglomerados Subnormais (C1)*: Aglomerado subnormal é uma forma de ocupação irregular de terrenos públicos ou privados em geral, caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas com restrição à ocupação como favelas, comunidades e loteamentos irregulares. Ao mensurar a presença de aglomeramentos subnormais, é possível implementar ações que visem à regularização fundiária, ao fornecimento de serviços essenciais e ao desenvolvimento de infraestrutura adequada. Além disso, a inclusão dos moradores dessas é fundamental para garantir que eles também se beneficiem das oportunidades socioeconômicas oferecidas. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais Instituto Brasileiro de (IBGE) como referência.
- *Emissões de gases efeito estufa (C2)*: Referem-se à liberação de gases que contribuem para o aquecimento global e mudanças climáticas. Esses gases absorvem a radiação solar e aumentam a retenção de calor na atmosfera. Ao mensurar as emissões, é possível

implementar medidas como a adoção de fontes de energia renovável, eficiência energética, transporte e práticas agrícolas. Além disso, o monitoramento contínuo permite acompanhar os progressos alcançados e tomar medidas corretivas, promovendo a transição para uma economia de baixo carbono. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados das emissões de gases efeito estufa elaborado a partir da soma da estimativa de Emissões dos setores (energia, processos industriais e resíduos, transporte) utilizando dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) como referência.

Produção (MC₂)

- Recuperação energética em aterros sanitários (C3): Com a instalação de uma infraestrutura própria, é possível converter os gases emitidos em bioenergia. Isso cria uma fonte de energia renovável e reduz as emissões de gases efeito estufa. No entanto, a recuperação energética em aterros sanitários depende de alguns fatores como quantidade e composição dos resíduos, tempo de decomposição, sistema de captação e tratamento do biogás, sistema de conversão energética e a viabilidade econômica e ecológica do projeto. Um indicador para a recuperação energética em aterros sanitários é fundamental para orientar investimentos e políticas públicas, identificando a necessidade de melhorias na infraestrutura, tecnologias e capacidade de geração de energia. Para a proposição limites e limiares foram utilizados dados do Centro de Pesquisa para Inovação em Gás (RCGI) como referência.
- Recuperação energética do esgoto (C4): As águas residuais e esgoto gerado se mostra proporcional ao incremento da população urbana e, conseqüentemente, leva a um aumento dos subprodutos formados nas estações de tratamento de esgoto, em especial o lodo. Existe a necessidade de dar uma destinação ecologicamente correta a estes resíduos. Uma das alternativas é o uso deste material na geração de energia. A recuperação energética em tratamento do esgoto depende de alguns fatores, como a quantidade e a composição do esgoto, o tipo de tratamento utilizado, o sistema de captação e tratamento, o sistema de conversão energética e a viabilidade socioecológica do projeto. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados do RCGI como referência.
- Recuperação energética total dos biorresíduos urbanos (C5): A proposição do Indicador foi elaborado a partir da soma do potencial energético proveniente de esgoto + aterro sanitário + biomassa útil. Ao mensurar a recuperação energética total, é possível

quantificar o potencial de geração de energia renovável a partir dos biorresíduos e direcionar esforços para maximizar sua utilização permitindo identificar oportunidades de melhorias na coleta seletiva, tratamento de esgoto e aproveitamento de biomassa, impulsionando a eficiência e a capacidade de geração de energia renovável. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados do RCGI como referência;

- Potência outorgada de geração de bioenergia (C6): Potência considerada no ato de Outorga. A outorga de direito de uso é um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder Público faculta ao outorgado gerar energia, finalidade e condição expressa no respectivo ato. A proposição do foi elaborado a partir da soma do potencial ortogardo por meio de utilização da biomassa no regime de exploração em fase de operação. Esse indicador se mostra viável para avaliar a capacidade de geração de bioenergia. Ao mensurar a potência outorgada, é possível quantificar a capacidade instalada de produção e planejar estrategicamente o aproveitamento dessas fontes energéticas. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados oficiais do sistema de informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como referência.
- Produção do biometano (C7): O biometano é o produto derivado da biodigestão de bactérias anaeróbicas. Os biorresíduos são colocados em biorreatores que produzem o biogás. Em seguida, separa-se desse gás o metano (CH_4), o gás carbônico (CO_2) e vapor de água. A purificação do biogás aumenta o teor de metano no gás final. O biometano resultante pode ser usado como substituto do gás natural em todas as suas aplicações, como combustível veicular, geração de energia elétrica ou térmica e insumo industrial. Ao mensurar e monitorar a produção de biometano, é possível impulsionar a transição para uma economia mais limpa, eficiente e baseada em fontes de energia renovável e quantificar o potencial de aproveitamento dessa fonte de energia renovável e direcionar esforços para sua expansão e utilização eficiente. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados do RCGI como referência.

Desenvolvimento e Organização de Mercado (MC₃)

- Contribuição para o PIB municipal (C8): Considerando que não existem dados estatísticos e temporais sobre a taxa de Contribuição da Bioeconomia para o PIB local, o desenvolvimento desse indicador depende da participação dos setores relacionados à bioeconomia e práticas circulares na geração de valor adicionado. A proposição do

indicador visa identificar a contribuição de práticas (e.g., recuperação de biorresíduos, comercialização de bioprodutos, agricultura urbana, produção de bioenergia, quantidade de resíduos “desviados” de lixões e aterros) para o PIB municipal, podendo orientar políticas públicas e estratégias de desenvolvimento que visam fortalecer e expandir a bioeconomia circular urbana. O indicador permite identificar os setores mais relevantes e potenciais oportunidades de investimento, bem como direcionar esforços para melhorar a infraestrutura, a capacitação e a P&D nesses setores.

- Startups (C9): Esse indicador visa identificar o número de startups que oferecem soluções inovadoras e rentáveis que contribuem para a preservação do capital natural e a promoção do desenvolvimento social. As startups podem atuar em diversos setores, como energia renovável, agricultura orgânica, saúde, educação, transporte, biotecnologia, tecnologias na recuperação e reciclagem ou que de forma direta ou indireta, conseguem reduzir os impactos ao meio ambiente e sociedade. Para o cálculo dos limites e limiares foram utilizados dados da plataforma *Startupbase* como referência.
- Certificação RenovaBio (C10): O principal instrumento da RenovaBio é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país. A certificação RenovaBio permite que os produtores e importadores de biocombustíveis emitam os Créditos de Descarbonização (CBIOs), que são ativos financeiros negociados em bolsa, que representam a redução das emissões de gases de efeito estufa alcançada pelo uso de biocombustíveis. Dessa forma, o RenovaBio cria um mercado de carbono no setor de combustíveis, incentivando a produção e o consumo de biocombustíveis mais sustentáveis. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados oficiais da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis como referência.

Gestão dos resíduos (MC₄)

- Cobertura do serviço de coleta seletiva (C11): A Coleta Seletiva porta a porta é uma coleta especial onde cooperativas de catadores fazem o trabalho de seleção e venda deste material, transformando-os em renda, além de possibilitarem estes materiais retornem ao mercado como novos produtos. A coleta seletiva contribui para a redução da quantidade de resíduos enviados para os aterros sanitários, para a preservação dos recursos naturais, para a geração de renda para os catadores de materiais recicláveis e para a educação ambiental da

população. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) como referência.

- *Destinação final dos resíduos (C12)*: A destinação final correta dos resíduos urbanos é essencial para garantir a proteção da saúde pública, a preservação dos serviços ecossistêmicos, a redução das poluições, a mitigação das mudanças climáticas e o cumprimento das normas e regulamentações ambientais. Conforme estabelecido pela PNRS, a destinação final consiste na disposição organizada dos rejeitos, seguindo diretrizes operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais adversos. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do Sistema Nacional de Gestão Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) como referência.
- *Taxa de reciclagem dos bioresíduos urbanos (C13)*: Atualmente, não há dados estatísticos e temporais disponíveis sobre a taxa de recuperação de biorresíduos urbanos em nível nacional. No entanto, é crucial promover uma gestão sustentável dos biorresíduos, uma vez que eles frequentemente são misturados com outros materiais recicláveis, tornando a separação mais difícil e, em alguns casos, reduzindo seu valor econômico, como é o caso do papelão. Além disso, os biorresíduos representam um importante problema socioambiental, não apenas pelo desperdício de recursos, mas também por se tornarem vetores de inúmeras doenças, sendo fundamental mensurar efetividade para a correta separação, tratamento e valorização dos biorresíduos, visando reduzir seu impacto negativo à saúde e aos ecossistemas de suporte.
- *Taxa de coleta de esgoto (C14)*: A taxa de coleta de esgoto representa a porcentagem da quantidade de esgoto coletada referente à água consumida. A coleta de esgoto é de extrema importância para proteger a saúde pública, melhorar a qualidade de vida, preservar os recursos hídricos. Ao garantir a correta coleta e tratamento do esgoto, evita-se a propagação de doenças, a contaminação dos corpos d'água, a degradação dos ecossistemas e a escassez de recursos hídricos. Além disso, a coleta de esgoto contribui para o bem-estar das comunidades, cria empregos e impulsiona a economia local. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SNIS como referência.
- *Taxa de tratamento de esgoto (C15)*: O tratamento de esgoto envolve a remoção de poluentes, utilizando métodos adequados de acordo com as características físicas, químicas e biológicas. A taxa de tratamento de esgoto refere-se à proporção entre o volume tratado e o volume coletado. Esse processo é crucial para proteger a saúde pública,

eliminando microrganismos patogênicos que podem causar diversas doenças, como esquistossomose, leptospirose, cólera e piodermites. Além disso, o tratamento de esgoto melhora a qualidade de vida ao criar ambientes mais higiênicos. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SNIS como referência.

- *Taxa de recuperação de biogás em aterros sanitários (C16)*: O tratamento do biogás ocorre pela sua passagem dos gases por um filtro para a remoção de material particulado, em seguida é encaminhado para um desumidificador que têm a finalidade de separar eventuais gotículas líquidas. Nessa fase líquida, o biogás é drenado por gravidade para um tanque de coleta de condensado e depois ser bombeado para o sistema de coleta ser tratado. O biogás, passa então pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada e/ou para outros sistemas de aproveitamento energético. Os resíduos da queima, é uma substância com aspecto de lodo que contém água, sais minerais e microrganismos, que pode ser utilizada como fertilizante biológico. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SINIR como referência.
- *Taxa de cobertura regular dos resíduos domiciliares (C17)*: Os resíduos domiciliares são resultantes das atividades domiciliares ou atividades comerciais cujas características sejam similares aos resíduos domiciliares. A coleta regular diz respeito a frequência mínima de uma vez por semana. A cobertura regular dos resíduos domiciliares é de grande importância por diversos motivos. Ela contribui para a proteção da saúde pública ao prevenir a proliferação de doenças transmitidas por vetores, mantém a higiene e a limpeza das áreas residenciais, melhora a estética urbana, promove a destinação correta e contribui para uma melhor qualidade de vida nas comunidades. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SNIS.

Gestão dos recursos naturais (MC₅)

- *Agricultura urbana e Periurbana (C18)*: A Agricultura urbana e Periurbana é um conceito que abrange diversos aspectos voltados ao consumo próprio, trocas, doações ou comercialização, de maneira segura, e (re)utilizando de forma efetiva e sustentável os recursos e bens locais (solo, água, resíduos, mão-de-obra), de modo a abordar de modo integrado os vários desafios urbanos, tais como o combate à pobreza e à desnutrição, as oportunidades de geração de renda, a gestão sustentável dos biorresíduos. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados da plataforma agroecologia em rede (AeR) como referência.

- Agricultura familiar e comunitária (C19): A agricultura familiar pode oferecer a produção de alimentos saudáveis, a partir de técnicas que ajudam a preservar a biodiversidade e o meio ambiente, além de assegurar o consumo de produtos saudáveis. Ao apoiar os agricultores familiares e comunitários, é possível fortalecer a economia local, gerar empregos, reduzir a pobreza e promover a inclusão social. Ao mensurar essa contribuição, é possível quantificar o valor da produção agrícola, o número de famílias envolvidas, os empregos gerados, a segurança alimentar local e a conservação dos recursos naturais. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do Atlas do Espaço Rural Brasileiro – IBGE como referência.
- Desperdício alimentar (C20): O desperdício de alimentos é um fator potencializador da insegurança alimentar e da fome no mundo. No Brasil de 35% a 40% dos alimentos produzidos são desperdiçados ao longo da cadeia logística e Apesar do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) ter um portal dedicado ao tema das perdas e desperdício de alimentos, onde é possível encontrar políticas, tecnologias e inovações relacionadas ao combate a esse problema, não existe um indicador à nível local mensurar o desperdício alimentar. Esse indicador é essencial para orientar políticas públicas, iniciativas educacionais e estratégias de conscientização que visam reduzir o desperdício alimentar, permitindo identificar os setores da cadeia alimentar em que ocorre maior desperdício e direcionar esforços para a implementação de boas práticas, como a melhoria do armazenamento e transporte, o estímulo ao consumo consciente e a doação de excedentes.
- Taxa de empresas que incluem a agricultura orgânica em sua cadeia de abastecimento (C21): A agricultura orgânica é um processo produtivo comprometido com a organicidade e sanidade da produção de alimentos para garantir a saúde dos seres humanos, razão pela qual usa e desenvolve tecnologias apropriadas à realidade local de solo, topografia, clima, água, radiações e biodiversidade própria de cada contexto, mantendo a harmonia de todos esses elementos entre si e com os seres humanos. A proposição do indicador visa promover a transparência e rastreabilidade dos produtos, aumenta a credibilidade e confiança dos consumidores, auxiliar no cumprimento de regulamentações e certificações e possibilita a inovação e diferenciação no mercado e as empresas monitorem e melhorem seu desempenho, reforçando seu compromisso com a produção de orgânicos.
- Infraestrutura verde (C22): Entende-se por infraestrutura verde toda a cobertura vegetal localizada no perímetro urbano incluindo árvores plantadas, parques, praças, jardins, quintais e florestas urbanas, ainda que localizadas em áreas suburbanas e periurbanas. A proposição de um indicador para mensurar o nível de infraestrutura verde desempenha

um papel crucial na resiliência urbana, ajudando a mitigar desastres naturais e melhorar a drenagem urbana. Em suma, a infraestrutura verde preserva a biodiversidade, contribui para a mitigação das mudanças climáticas e pode valorizar os imóveis nas áreas, promovendo ambientes mais saudáveis e resilientes.

Investigação, desenvolvimento e formação de redes (MC₆)

- Patentes verdes (C23): Mensurar as inovações tecnológicas "abertas" provenientes dos setores acadêmicos como universidades públicas em parceria com outras instituições ligadas ao desenvolvimento sustentável, representam uma forma da criação e da difusão do conhecimento na atividade produtiva. As Patentes “verdes” são aquelas enquadradas no rol de inovações estabelecidas pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (Ompi) em cinco áreas: energias alternativas, transportes, conservação de energia, gerenciamento de resíduos e agricultura sustentável. Para a proposição dos limites e limiares superior e inferior foram utilizados os dados oficiais do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) como referência.
- Pesquisadores (C24): Esse indicador permite mensurar e avaliar a produção científica, e a expertise auxilia na identificação de lacunas de conhecimento e no direcionamento de recursos para pesquisas e projetos relevantes. O indicador tem como base o número de pesquisadores que compõe grupos de pesquisa relacionados à gestão de biorresíduos, desenvolvimento de biotecnologias, práticas circulares e desenvolvimento urbano nos campos de ciências agrárias, ciências biológicas, ciências exatas e da terra, ciências sociais aplicadas e engenharias. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) como referência.
- Financiamento de projetos (C25): Valor de financiamentos a projetos liberados considerando áreas de estudo e temas relevantes para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular (e.g., gestão de resíduos, urbanização, desenvolvimento de tecnologias, práticas sustentáveis, circularidade, tecnologia da informação, empreendedorismo) financiados por meio do fomento público à Ciência, Tecnologia e Inovação em empresas, universidades, institutos tecnológicos e outras instituições¹. Para a proposição dos limites

¹ Os valores dos descritores foram estipulados por meio uma média entre os anos de 2002 e 2021 levando em conta a inflação de cada ano. Para calcular a correção de valores foi utilizado o Índice Geral de Preços do Mercado (IPM-G/FGV) e a população referente ao mês de dezembro de 2021.

e limites foram utilizados os dados oficiais do portal de transparência da Agência pública Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) como referência.

- *Processo de sistematização e mapeamento do conhecimento (C26)*: A sistematização e mapeamento do conhecimento auxiliam na tomada de decisões embasadas em evidências, permitindo que gestores, pesquisadores e profissionais possam utilizar as informações disponíveis para embasar suas ações e estratégias. Esses processos também incentivam a colaboração e a troca de conhecimento entre diferentes atores, promovendo o avanço científico e a inovação. O indicador se refere a redes, organizações, institutos e/ou núcleos de educação e construção do conhecimento agroecológico ligados às questões sociais, políticas, culturais, energéticas, ambientais, éticas e agricultura familiar. Para a proposição dos limites e limites foram utilizados os dados da plataforma era como referência.
- *Parcerias Público-Privado (C27)*: Nessas parcerias são aplicados contratos pelo qual o parceiro privado assume o compromisso de disponibilizar à administração pública ou à comunidade uma certa utilidade mensurável mediante a operação e manutenção de uma obra projetada, financiada e construída. Esse tipo de parceria é um meio de buscar um caminho mais sustentável juntamente com outras abordagens de governança inclusiva e colaborativa, como transdisciplinaridade, cocriação, e modelos de negócios alternativos e.g., cooperativas, incubadoras, fundações, e empresas de interesse comunitário. Nesse sentido, A proposição de um indicador relacionado a parcerias público-privadas contribui para a avaliação do impacto socioecológico incluindo a redução da pegada de carbono, a conservação da biodiversidade urbana e a promoção da inclusão social. O indicador permite avaliar e monitorar a eficácia das parcerias, facilitando a prestação de contas e a transparência, garantindo que os recursos públicos sejam utilizados de forma eficiente e responsável, apoiando a tomada de decisões informadas o incentivo à colaboração entre os setores.
- *Capacidade de promover a Biosimbiose urbana (C28)*: A capacidade de promover a biosimbiose urbana refere-se à habilidade dos atores urbanos e das partes interessadas de implementar e apoiar soluções baseadas na natureza que utilizem materiais, tecnologias e serviços de base biológica, considerando não apenas os biorresíduos, mas também outros recursos, como calor residual, biofertilizantes, água e energia que podem ser utilizados sinergicamente. Essas sinergias ocorrem de forma planejada, através de integração, parceria e cooperação entre os atores envolvidos para alcançar objetivos coletivos. A proposição de um indicador específico para mensurar a capacidade dos ecossistemas

urbanos em promover a biosimbiose urbana busca à integração simbiótica entre os sistemas biológicos e os sistemas humanos nas áreas urbanas, visando a harmonização dos processos e a maximização dos benefícios mútuos.

Políticas, estratégias e legislação (MC7)

- Associados em Cooperativas de catadores de materiais recicláveis (C29): A organização proporcionada pela estrutura de uma cooperativa possibilita maior poder de barganha dos recicladores com a indústria e com o poder público. Por meio de cooperativas é possível acumular maior volume de recicláveis e vender de forma direta à indústria. Desta forma, os catadores obtêm melhores preços, por eliminar a figura do intermediário. A gestão de uma cooperativa tem bases democráticas e participativas. Logo, todos os associados têm direito a voto igualitário. Outra vantagem de ser cooperado é a redução das taxas de empréstimos e incentivos fiscais. Em conjunto, é possível aumentar a escala de produção, reduzir custo e aumentar lucros. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SNIS como referência.
- Formalização de profissionais que atuam na cadeia logística dos resíduos (C30): O Brasil, assim como outros países emergentes sofrem as consequências da globalização do capital. Estas são refletidas diretamente nos índices de desemprego e subemprego. Este quadro proporciona um crescimento econômico de caráter excludente, com a alta elevação do setor informal da sociedade. Frente à necessidade de proporcionar um aumento da renda dos trabalhadores informais, bem como na melhoria das condições de trabalho e comercialização dos materiais beneficiados, emerge a necessidade de uma disposição e formalização destes grupos. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SNIS como referência.

Programa de Educação Ambiental (C31): O desenvolvimento de ações educativas, a serem formuladas através de um processo participativo, visando capacitar setores sociais, com ênfase nos afetados diretamente pelo empreendimento, para uma atuação efetiva na melhoria da qualidade dos ecossistemas urbanos e do bem-estar humano. Esses programas representam iniciativas voltadas para o fortalecimento da educação ambiental em diversos âmbitos, como escolas, universidades, organizações não governamentais e governamentais, visando aumentar o conhecimento, mudar comportamentos e estimulando o engajamento ativo da comunidade, promovendo a participação cidadã em

projetos e iniciativas relacionadas à educação ambiental. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados da plataforma agroecologia em rede (AeR) como referência.

- *Incentivos fiscais e/ou subsídios para a compostagem doméstica (C32)*: A compostagem é uma forma de aproveitar a decomposição natural dos resíduos biológicos. Através da compostagem doméstica, a quantidade de resíduos biológicos destinadas a aterros e lixões é reduzida consideravelmente, o que pode auxiliar a economia de receita municipal, além de incentivar a consciência ambiental dos cidadãos. Eles podem incluir isenções fiscais, reduções de taxas, descontos em serviços relacionados à gestão de resíduos e subsídios para aquisição de equipamentos e materiais, além de apoio técnico e educacional permitindo quantificar o impacto dos incentivos, promovendo a adesão da população, a redução do desperdício e o reaproveitamento adequado desses recursos. Os resíduos biológicos resultantes podem ser destinados a projetos de agricultura familiar, hortas comunitárias, agricultura periurbana e hortos de mudas a serem destinadas ao plantio em espaços públicos .
- *Plano de gestão integrada de resíduos sólidos entre municípios (C33)*: É um instrumento de planejamento que visa nortear os municípios a se ajustarem ao cumprimento das obrigações previstas pela PNRS. Sob o ponto de vista econômico, a elaboração do plano é condição necessária para que os municípios tenham acesso aos recursos da União, destinados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos. Sob o aspecto ambiental, delimita cenários que ajudam na compreensão dos tipos de resíduos sólidos gerados e como são tratados de forma eficaz permitindo quantificar o impacto das ações coordenadas, promovendo a redução, reciclagem e disposição adequada dos resíduos sólidos. Ao mensurar e monitorar esse indicador, é possível impulsionar a implementação de planos mais eficazes, contribuindo para a transição para uma gestão de resíduos mais sustentável e responsável em toda a região.
- *Consórcio intermunicipal no manejo de resíduos sólidos urbanos (C34)*: Os consórcios são instrumentos que permite a dois ou mais municípios desenvolverem ações em comum, em âmbito regional, para a prestação de serviços públicos. O consórcio na gestão de resíduos sólidos visa melhorar os custos de operação, manutenção e administração de serviços e instalações, como coleta de lixo e aterros sanitários, por meio de ganhos em escala e planejamento regional, de maneira a conciliar as dificuldades e soluções. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do SINIR como referência.

- Habilitado a receber o ICMS Ecológico (C35): O ICMS Ecológico é a introdução de novos critérios de redistribuição de recursos estaduais pelo atendimento de determinados critérios ambientais estabelecidos em leis estaduais. O ICMS Ecológico é um mecanismo que busca incentivar os municípios a promoverem ações de preservação dos recursos naturais, como a proteção legal de áreas naturais ou o tratamento de resíduos e esgotos sanitários, possibilitando a estes o acesso a parcelas maiores dos recursos financeiros arrecadados. O ICMS Ecológico possibilita compensar os municípios pela restrição de uso do solo em locais protegidos (i.e., unidades de conservação e outras áreas de preservação específicas) e pode servir como um instrumento de estímulo à conservação da biodiversidade, ao incentiva a criação de novas áreas protegidas, já que considera o percentual que os municípios possuem de áreas de conservação em seus territórios.
- Contratos públicos sustentáveis (C36): Toda ação estatal deve se basear na ideia de desenvolvimento sustentável, que exige melhor aproveitamento de recursos, criação de logística eficaz e planejamento de iniciativas que beneficiem a população e o meio ambiente a longo prazo. As compras do Poder Público possuem grande relevância na economia do país e ao incluir critérios ambientais, sociais e econômicos nas licitações e contratos, o setor público exerce seu poder de compra influenciando positivamente o mercado e impulsionando a transição para uma economia mais equitativa. Esse indicador permite avaliar a efetividade das políticas de compras sustentáveis, identificar oportunidades de melhoria, direcionar recursos e acompanhar o seu progresso ao longo do tempo. Para a proposição dos limiares superior e inferior foram utilizados os dados oficiais do portal da transparência da controladoria geral da união.
- Investimentos em urbanismo (C37): O urbanismo diz respeito regulação, controle e planejamento do ambiente urbano. Sua essência é a relações entre os espaços construídos e a sociedade, relacionando seu à vários fatores que contribuem para a sua organização como a mobilidade urbana, infraestruturas, arquitetura, entre outros. Ao mensurar esses investimentos, é possível quantificar os recursos direcionados para o desenvolvimento sustentável, a quantidade e qualidade das intervenções realizadas e os benefícios gerados como ciclovias, transporte público eficiente, espaços verdes e sistemas de coleta de água pluvial, promovendo a mobilidade sustentável, a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais do portal da transparência da controladoria geral da união.

Infraestrutura e tecnologia (MC₈)

- Usina de triagem e compostagem (C38): Usinas de Triagem e Compostagem são locais onde ocorre a separação dos resíduos sólidos destinados a reciclagem, podendo ser manual, automática ou semiautomática. A Compostagem é o conjunto de técnicas aplicadas para estimular a decomposição de materiais biológicos no menor tempo possível. Sua realização visa criar um material estável e minimizar a fração de resíduos destinados a aterros. Esse indicador visa avaliar a infraestrutura existente de triagem e compostagem em um município, permitindo a identificação de lacunas e o planejamento estratégico para aprimorar e expandir essas usinas. A presença de Usinas de triagem e compostagem contribui para uma gestão mais eficiente, reduzindo a quantidade de biorresíduos enviados para aterros sanitários e promovendo sua recuperação. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados dados oficiais do Centro Internacional de Energias Renováveis Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE) como referência.
- Planta de biogás (C39): Uma planta de biogás é o nome dado a um digestor anaeróbico que trata resíduos ou resto de culturas e pode ser produzido com digestores anaeróbios (i.e., tanques herméticos com diferentes configurações). O biogás produzido pode ser utilizado como combustível para fogões, motores e geração de energia elétrica. Um indicador para quantificar as plantas de biogás contribuem para impulsionar a gestão dos biorresíduos de uma forma eficiente e o desenvolvimento econômico local, criando empregos e estimulando o crescimento de indústrias relacionadas à bioeconomia urbana. Para o a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGAS) como referência.
- Gasoduto e pontos de entrega (C40): Os gasodutos são parte da Infraestrutura para escoamento e transporte por dutos composta pelos gasodutos de transporte, estações de compressão, terminais de regaseificação e pontos de entrega (*citygates*). Um indicador para mensurar a disponibilidade de gasodutos e pontos de entrega permite avaliar a infraestrutura de transporte, integrar diferentes setores, viabilizar economicamente a produção e o consumo de biogás, facilitando a conexão entre produtores e consumidores e incentivando o investimento e crescimento de uma bioeconomia circular urbana. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) como referência.

- *Linhas de transmissão e subestação de energia (C41)*: Para viabilizar essa transição para uma economia baseada em recursos biológicos, é essencial garantir a disponibilidade de energia em larga escala. As linhas de transmissão são responsáveis por transportar a bioenergia gerada para os centros de consumo. Essas linhas permitem a distribuição eficiente da bioenergia gerada em locais específicos para onde a demanda é maior. Isso possibilita a integração efetiva da bioenergia na matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. As subestações são os locais em que a energia é retransmitida e adequada para o uso final reduzindo a tensão elevada (imprópria para aplicação) até um padrão que é possível sua utilização de forma segura e eficiente. As subestações garantem a estabilidade, a segurança e o controle da energia elétrica durante o processo de transmissão e distribuição. Para a proposição dos limites e limiares foram utilizados os dados oficiais da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) como referência.
- *Biorrefinaria para a recuperação de biorresíduos urbanos (C42)*: As biorrefinarias são unidades de processamento de biomassa projetadas para aproveitar toda a potencialidade dos recursos biológicos, produzindo biocombustíveis, bioprodutos e energia renovável. Por meio da adoção de abordagens inovadoras no gerenciamento de resíduos, as biorrefinarias urbanas desempenham um papel importante na redução do desperdício e na mitigação dos impactos socioecológicos associados aos biorresíduos. Ao transformar esses biorresíduos em recursos, as biorrefinarias impulsionam a transição para um modelo circular na qual os materiais são reutilizados e reciclados, favorecendo a criação de um ciclo sustentável de produção e consumo em que os recursos biológicos são utilizados de forma eficiente e os impactos ambientais são minimizados.

7.7 Construção do modelo de valor por meio de conferência de decisão

A modelagem de valor não se destina a fornecer uma solução definitiva ou ótima, em vez disso, destina-se a apoiar o julgamento e o diálogo dos participantes, fornecendo um quadro e uma linguagem comuns para discutir e comparar os seus pontos de vista e opções. O modelo de valores também ajuda a criar uma compreensão compartilhada do problema entre os participantes, bem como um sentido de propriedade e de compromisso para com a decisão (Phillips, 2007). Considerando que o modelo de valores funciona como uma "ferramenta de reflexão" que auxiliar os participantes a compreender o problema, a clarificar as suas preferências, a comparar e classificar as alternativas e a identificar os *trade-offs* e as incertezas. O modelo de valor foi construído por meio de um processo iterativo e

colaborativo que segue as seguintes etapas: (i) Estruturar os critérios: o facilitador assessora os decisores a organizarem suas opiniões numa hierarquia de critérios e subcritérios, que são os atributos ou dimensões que podem ser utilizados para medir até que ponto cada alternativa cumpre cada objetivo; (ii) Atribuir pesos: o facilitador auxilia os decisores a atribuir pesos a cada critério e subcritério, que refletem a sua importância relativa ou prioridade e (iii) Gerar alternativas: o facilitador incentiva aos decisores a gerarem um conjunto de alternativas viáveis e diversificadas que podem potencialmente resolver o problema, considerando que as alternativas devem ser mutuamente exclusivas, coletivamente exaustivas e realistas.

Após a definição dos indicadores, os descritores foram desenvolvidos com base nos limites superiores e inferiores de acordo com as bases de dados disponíveis. A construção de um modelo obrigatório é razão para o uso do protocolo de questionamento *Macbeth*. Uma das principais preocupações na conferência de decisão é equilibrar a modelagem teoricamente sólida com o desenvolvimento de um modelo transparente, abrangente e compreensível que tenha um significado substantivo. Usando um procedimento de conferência, os especialistas foram solicitados a definirem a diferença de atratividade para cada um dos descritores (de 'muito fraca' a 'extrema'); estes acórdãos foram discutidos e alguns dos indicadores foram alterados ou revogados à luz dos argumentos apresentados. Em seguida, definidos as diferenças de atratividade entre os descritores, os resultados do processo de ponderação entre indicadores (nível global) foram inseridos na primeira linha da "matriz *M-macbeth*", a diagonal principal da matriz, e a última coluna foram então preenchidas com os julgamentos dos especialistas. Também solicitamos aos especialistas que definissem e estabelecessem limiares superiores e inferiores para cada um dos indicadores. A definição dos limiares superiores e inferiores e superiores tem como propósito delimitar a faixa de valores aceitáveis considerados relevante ou realista para o indicador. Esses limiares têm múltiplas implicações. Primeiramente, eles facilitam a interpretação precisa dos valores, evitando conclusões equivocadas. Além disso, auxiliam na identificação de erros nos dados e possibilitam o monitoramento do progresso em direção a metas específicas. Em índices compostos, a definição adequada dos limites e limiares são cruciais para equilibrar a contribuição de diferentes indicadores, assegurando a comparabilidade ao longo do tempo e entre diversos cenários (Greco et al., 2019). Isso também permite uma comunicação eficaz dos resultados para diferentes públicos. Uma vez estabelecidos os limites e limiares, os descritores foram normalizadas em uma escala linear de 0 e 100 utilizando o próprio *M-macbeth*. A definição destes parâmetros serviu como referência para a construção da função

de valor no modelo aditivo. Por meio de um consenso, as diferenças de atratividade para cada critério (indicador) de acordo com seus julgamentos sobre o grau de importância foi:

$$C_{28} > C_{13} > C_{12} > C_{30} > C_{31} > C_{32} > C_{29} > C_{20} > C_{24} > C_{26} > C_{14} > C_{15} > C_{17} > C_1 > C_{11} > C_{36} > C_2 > C_{34} > C_{35} > C_{38} > C_{33} > C_{39} > C_{18} > C_{19} > C_{27} > C_8 > C_{25} > C_{40} > C_{41} > C_{42} > C_{37} > C_{10} > C_{16} > C_{22} > C_5 > C_3 > C_4 > C_9 > C_6 > C_{21} > C_7 > C_{23}.$$

Após a normalização dos indicadores utilizando a ponderação condicional qualitativa, a construção dos valores foi concluída. A árvore de ponto de vistas foi desenvolvida (ver anexo – Fig. D3), considerando os pesos atribuídos, a fim de garantir que os critérios e as ponderações sejam coerentes e adequados para a tomada de decisões. A Tab. 7.3 detalha os valores ilustrados na Fig., designando-os como "pesos locais" e "pesos globais" para facilitar a compreensão dos valores representados na árvore de valores.

Tab. 7.3 - Pesos locais e globais dos critérios.

Critério	Local	Global	Critério	Local	Global
MC₁		[6.58]	MC₆		[14.86]
C ₁	[50.22]	[3.31]	C ₂₃	[2.59]	[0.38]
C ₂	[49.78]	[3.28]	C ₂₄	[22.25]	[3.35]
MC₂		[4.21]	C ₂₅	[13.92]	[2.07]
C ₃	[23.43]	[0.99]	C ₂₆	[22.49]	[3.34]
C ₄	[20.57]	[0.87]	C ₂₇	[15.53]	[2.31]
C ₅	[26.29]	[1.11]	C ₂₈	[22.92]	[3.41]
C ₆	[17.71]	[0.75]	MC₇		[27.25]
C ₇	[12.00]	[0.51]	C ₂₉	[12.36]	[3.37]
MC₃		[4.42]	C ₃₀	[13.39]	[3.38]
C ₈	[54.27]	[2.19]	C ₃₁	[12.42]	[3.38]
C ₉	[9.35]	[0.77]	C ₃₂	[10.24]	[3.38]
C ₁₀	[36.38]	[1.47]	C ₃₃	[11.56]	[2.79]
MC₄		[21.42]	C ₃₄	[11.12]	[3.15]
C ₁₁	[15.42]	[3.30]	C ₃₅	[12.09]	[3.03]
C ₁₂	[15.83]	[3.39]	C ₃₆	[5.83]	[3.29]
C ₁₃	[15.87]	[3.40]	C ₃₇	[12.00]	[1.59]
C ₁₄	[15.57]	[3.33]	MC₈		[11.06]
C ₁₅	[15.53]	[3.33]	C ₃₈	[26.30]	[2.91]
C ₁₆	[6.29]	[1.35]	C ₃₉	[24.13]	[2.67]
C ₁₇	[15.49]	[3.32]	C ₄₀	[17.61]	[1.95]
MC₅		[10.19]	C ₄₁	[16.52]	[1.83]
C ₁₈	[25.02]	[2.55]	C ₄₂	[15.43]	[1.71]
C ₁₉	[23.84]	[2.43]			
C ₂₀	[32.97]	[3.36]			
C ₂₁	[6.14]	[0.63]			
C ₂₂	[12.04]	[1.23]			

A linguagem e os recursos visuais podem ser significantes poderosos e dispositivos retóricos que moldam a maneira como visualizamos as informações. As cores são comumente usadas para representar fenômenos de intensidade variável que se tornam convenções. Uma das formas mais comuns de a linguagem e os recursos visuais utilizarem

significantes e dispositivos retóricos é a utilização de cores para representar fenómenos de intensidade variável. Uma das aplicações da utilização das cores como significantes e dispositivos retóricos é a avaliação do progresso de um determinado indicador. Um indicador é uma medida ou uma métrica que quantifica ou avalia um aspeto ou uma dimensão de um fenómeno, como a saúde, a educação, o ambiente ou a economia. Os indicadores podem ser utilizados para monitorizar e avaliar o estado e o desempenho de um fenómeno ao longo do tempo ou no espaço, bem como para comparar e aferir diferentes fenómenos ou entidades. Por exemplo, os indicadores podem ser utilizados para medir a esperança de vida, a taxa de literacia, a pegada de carbono ou o produto interno bruto de um país.

Para avaliar o progresso de um determinado indicador, foi utilizado um sistema de código de cores com quatro intervalos distintos: verde, amarelo, laranja e vermelho. Estas cores são frequentemente utilizadas como significantes e dispositivos retóricos para transmitir o nível de realização ou de satisfação de um indicador relativamente a um objetivo ou a uma norma. O sistema de código de cores pode nos auxiliar a visualizar a informação de uma forma simples e intuitiva, bem como a comunicá-la de uma forma eficaz e persuasiva. O sistema de código de cores pode também nos auxiliar a identificar e a dar prioridade às áreas que necessitam de melhoria ou intervenção. Os limiares absolutos foram estabelecidos para diferenciar as situações distintas: o valor ótimo a ser alcançado (verde), proximidade do limiar superior (amarelo), proximidade do limiar inferior (laranja) e o pior desempenho possível (vermelho). Essa codificação por cores permite uma avaliação visual rápida e intuitiva, facilitando a compreensão dos resultados e direcionando os esforços e intervenções para as áreas que requerem maior atenção e aprimoramento. Em concordância com Sachs et al. (2022), acreditamos que limites absolutos são mais adequados, pois a maioria dos indicadores que compõe o Índice proposto exige o sucesso em atingir limites absolutos. Portanto, cada intervalo nesta escala é linearmente contínuo para todos os indicadores, mas a escala varia entre os intervalos. A Tab. 7.4 apresenta os limites e limiares superiores e inferiores para cada um dos indicadores.

Tab. 7.4 - Valores-alvo Limiares e Limites inferiores.

Indicador	Valor Alvo	Limiar Superior	Limiar inferior	Limite inferior
Domicílios em aglomerados Subnormais (%)	0	5	10	20
Emissões de gases efeito estufa (tCO ₂ e 100.000 hab.)	Emissões negativas	Menores que 100.000	100.000	360.000
Recuperação energética em aterros sanitários (MW / 100.000 hab.)	1,5	1,2	0,5	0
Recuperação energética do esgoto (MW / 100.000 hab.)	0,3	0,2	0,1	0
Recuperação energética total biorresíduos urbanos (MW / 100.000 hab.)	6	4	1	0
Potência outorgada da geração de bioenergia (MW / 100.000 hab.)	8	6	2	0
Produção do biometano (nm ³ /ano)	2,2	1,6	0,8	0
Contribuição para o PIB municipal (%)	60	50	40	20
Startups	4	2	1	0
Certificação RenovaBio	Certificação vigente	Certificação em andamento	–	Sem certificação
Cobertura do serviço de coleta seletiva (%)	100	90	–	70
Destinação final do resíduo	Indústria recicladora OU Tratamento e recuperação energética	Aterro Sanitário	Aterro controlado	Lixão a céu aberto
Taxa de reciclagem dos bioresíduos urbanos (%)	100	90	50	30
Taxa de coleta de esgoto (%)	100	90	–	–
Taxa de tratamento de esgoto (%)	100	90	50	30
Taxa de recuperação de biogás em aterros sanitários (%)	100	90	50	30

Taxa de cobertura regular dos resíduos domiciliares (%)	100	90	50	30
Agricultura urbana e Periurbana	Sim	–	–	Não
Agricultura familiar e comunitária (Famílias)	1500	500	100	10
Desperdício alimentar (%)	5	10	15	20
Taxa de empresas que incluem a agricultura orgânica em sua cadeia de abastecimento (%)	80	50	30	10
Infraestrutura verde (%)	40	30	20	10
Patentes verdes	3	2	1	0
Pesquisadores (100.000 hab.)	3	2	1	0
Financiamento de projetos (R\$ Milhão / 100.000 hab.)	100	90	50	30
Processo de sistematização e mapeamento do conhecimento (100.000 hab.)	3	2	1	0
Parcerias Público-Privado	Sim	–	–	Não
Capacidade de promover a Biosimbiose Urbana	Sim	–	–	Não
Associados em cooperativas locais de catadores de materiais recicláveis (100.000 hab.)	30	20	10	0
Política para formalização de profissionais que atuam na cadeia de resíduos	Programa com alto impacto na criação de empregos	–	Programa com baixo impacto na criação de empregos	Inexistente

Programa de Educação Ambiental	A soma de pelo menos duas das práticas relacionadas ao limiar superior + promover a formação de formadores (professores, lideranças comunitárias, gestores)	Promove linhas de ações e projetos voltados à qualificação da participação social nas políticas públicas de resíduos sólidos OU Promove linhas de ações e projetos voltados à conscientização sobre a responsabilidade pós consumo e a logística reversa OU Promover linhas de ações e projetos voltados à mobilização e engajamento da população na coleta seletiva	Abrange a educação formal / não formal	Inexistente
Incentivos fiscais e/ou subsídios para a compostagem doméstica	Subsídios para a compostagem doméstica	Abatimento em impostos	—	Inexistente
Plano de gestão integrada de resíduos sólidos entre municípios	Sim	—	—	Não
Consórcio intermunicipal no manejo de resíduos sólidos urbanos	Sim	—	—	Não
Habilitado a receber o ICMS Ecológico	Sim	—	—	Não
Contratos públicos sustentáveis (%)	90	70	50	30
Investimentos em urbanismo (Milhão R\$ /100.000 hab.)	3.5	3	1	0
Usina de triagem e compostagem	Triagem mecanizada e compostagem	Triagem mecanizada	Triagem manual	Inexistente
Planta de biogás	Em operação	—	Projeto em andamento	Inexistente
Gasoduto e pontos de entrega	Gasoduto e ponto de entrega	Gasoduto	Projeto de gasoduto em andamento	Inexistente
Linhas de transmissão e subestação de energia	Linhas de transmissão e subestação de energia	Linha de transmissão e projeto de subestação em construção	Linha de transmissão	Inexistente
Biorrefinaria para a recuperação de biorresíduos urbanos	Em Operação	Projeto em construção	Projeto aprovado	Inexistente

Para o Cluster “*Mudanças climáticas e pressão sobre os ecossistemas de suporte*”, os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.5 e 7.6.

Tab. 7.5 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁.

Domicílios em aglomerados Subnormais (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
0	100	1,0
5	60	0,9
10	0	0,7
20	-210	0,0

Tab. 7.6 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂.

Emissões de gases efeito estufa (tCO₂e 100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Emissões negativas	166,67	1,0
Menores que 100.000	100	0,8
100.000	33,33	0,6
360.000	-155,56	0,0

Para o Cluster “*Produção*” os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.7, 7.8, 7.9, 7.10 e 7.11.

Tab. 7.7 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃.

Recuperação energética em aterros sanitários (MW 100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
1,5	100	1,0
1,2	86,36	0,9
0,5	54,55	0,5
0	0	0,0

Tab. 7.8 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₄.

Recuperação energética do esgoto (MW/100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
0,3	100	1,0
0,2	89,99	0,9
0,1	56,25	0,6
0	0	0,0

Tab. 7.9 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₅.

Recuperação energética total biorresíduos urbanos (MW/100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
6	100	1,0
4	86,67	0,9
1	36,67	0,4
0	0	0,0

Tab. 7.10 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₆.

Potência outorgada da geração de bioenergia (MW/100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
8	100	1,0
6	84	0,8
2	44	0,4
0	0	0,0

Tab. 7.11 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₇.

Produção do biometano (nm ³ /ano)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
2,2	100	1,0
1,6	87,80	0,9
0,8	63,41	0,6
0	0	0,0

Para o Cluster “*Desenvolvimento e Organização de Mercado*” os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.12, 7.13 e 7.14.

Tab. 7.12 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₈.

Contribuição para o PIB municipal (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
60	100	1,0
50	72,73	0,7
40	36,36	0,4
20	0	0,0

Tab. 7.13 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₉.

Startups		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
4	100	1,0
2	79,17	0,8
1	54,17	0,5
0	0	0,0

Tab. 7.14 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₀.

Certificação RenovaBio		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Certificação vigente	100	1,0
Certificação em andamento	69,81	0,7
–	–	–
Não Certificado	0	0,0

Para o Cluster “*Gestão dos resíduos*” os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19, 7.20 e 7.21.

Tab. 7.15 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₁.

Cobertura do serviço de coleta seletiva (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	62,49	0,6
–	–	–
70	0	0,0

Tab. 7.16 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₂.

Destinação final dos resíduos		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Industria Recicladora/ Tratamento e recuperação energética	100	1,0
Aterro Sanitário	0	0,6
Aterro controlado	-125	0,1
Lixão a céu aberto	-150	0,0

Tab. 7.17 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₃.

Taxa de reciclagem dos bioresíduos urbanos (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	115	1,0
90	100	0,9
50	40	0,3
30	0	0,0

Tab. 7.18 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₄.

Taxa de coleta de esgoto (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	78,79	0,8
–	–	–
70	0	0,0

Tab. 7.19 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₅.

Taxa de tratamento de esgoto (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	70,72	0,9
50	-50	0,3
30	-110	0,0

Tab. 7.20 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₆.

Taxa de recuperação de biogás em aterros sanitários (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	92	0,9
50	50,01	0,5
30	0	0,0

Tab. 7.21 - - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₇.

Taxa de cobertura regular dos resíduos domiciliares (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	51,69	0,8
50	-45,45	0,3
30	-100	0,0

Para o Cluster “*Gestão dos resíduos*” os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.22, 7.23, 7.24, 7.25 e 7.26.

Tab. 7.22 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₈.

Agricultura urbana e Periurbana		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1,0
–	–	
–	–	
Não	0	0,0

Tab. 7.23 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₁₉.

Agricultura familiar e comunitária (Famílias)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
1500	100	1,0
500	70,72	0,9
100	-50	0,3
10	-110	0,0

Tab. 7.24 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₀.

Desperdício alimentar (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
5	100	1,0
10	73,68	0,7
15	52,63	0,5
20	0	0,0

Tab. 7.25 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₁.

Taxa de empresas que incluem a agricultura orgânica em sua cadeia de abastecimento (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
80	100	1,0
50	88,24	0,9
30	41,18	0,4
10	0	0,0

Tab. 7.26 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₂.

Infraestrutura verde (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
40	125	1,0
30	100	0,8
20	66,67	0,5
10	0	0,0

Para o Cluster “*Gestão dos resíduos*” os dados compilados dos da fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32.

Tab. 7.27 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₃.

Patentes verdes		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
3	100	1,0
2	81,25	0,8
1	56,25	0,6
0	0	0,0

Tab. 7.28 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₄.

Pesquisadores (100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
3	100	1,0
2	81,25	0,8
1	56,25	0,6
0	0	0,0

Tab. 7.29 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₅.

Financiamento de projetos (R\$ Milhão/ 100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
100	100	1,0
90	70,72	0,9
50	-50	0,3
30	-110	0,0

Tab. 7.30 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₆.

Processo de sistematização e mapeamento do conhecimento (100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
32	100	1,0
2	85,71	0,9
1	52,63	0,5
0	0	0,0

Tab. 7.31 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₇.

Parcerias Público-Privado		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1
–	–	–
–	–	–
Não	0	0

Tab. 7.32 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₈.

Capacidade de promover a Biosimbiose Urbana		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1
–	–	–
–	–	–
Não	0	0

Para o Cluster “*Infraestrutura e tecnologia*”, os dados compilados na fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.33, 7.34, 7.35, 7.36, 7.37, 7.38, 7.39, 7.40 e 7.41.

Tab. 7.33 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₂₉.

Associados em Cooperativas locais de catadores de materiais recicláveis		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
30	100	1,0
20	74,19	0,9
10	0	0,5
0	-111,11	0,0

Tab. 7.34 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₀.

Política para formalização de profissionais que atuam na cadeia de resíduos		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Programa com alto impacto na criação de empregos	100	1,0
–	–	–
Programa com alto impacto na criação de empregos	40,21	0,4
30	0	0,0

Tab. 7.35 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₁.

Programa de Educação Ambiental		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Pelo menos um dos critérios referentes ao limiar superiores + Promover a formação de formadores (professores, lideranças comunitárias, gestores)	100	1,0
Promover linhas de ações e projetos voltados à qualificação da participação social nas políticas públicas de resíduos sólidos ou Promover linhas de ações e projetos voltados à conscientização sobre a responsabilidade pós consumo e a logística reversa ou promover linhas de ações e projetos voltados à mobilização e engajamento da população na coleta seletiva	86,36	0,9
Abrange a educação formal / não formal	54,55	0,5
Inexistente	0	0,0

Tab. 7.36 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₂.

Incentivos fiscais e/ou subsídios para a compostagem doméstica		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Subsídios para a compostagem doméstica	100	1,0
Abatimento em impostos	71,72	0,7
—	—	—
Inexistente	-0	0,0

Tab. 7.37 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₃.

Plano de gestão integrada de resíduos sólidos entre municípios		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1
—	—	—
—	—	—
Não	0	0

Tab. 7.38 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₄.

Consórcio intermunicipal no manejo de resíduos sólidos urbanos		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1
—	—	—
—	—	—
Não	0	0

Tab. 7.39 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₅.

Habilitado a receber o ICMS Ecológico		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Sim	100	1
—	—	—
—	—	—
Não	0	0

Tab. 7.40 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₆.

Contratos públicos sustentáveis (%)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
90	100	1,0
70	76,01	0,8
50	36,00	0,4
30	0	0,0

Tab. 7.41 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₇.

Investimentos em urbanismo (Milhão R\$ 100.000 hab.)		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
3.5	100	1,0
3	86,00	0,9
1	57,09	0,8
0	-110	0,0

Para o Cluster “*Infraestrutura e tecnologia*”, os dados compilados na fase de conferência de decisão são apresentados nas Tab. 7.42, 7.43, 7.44, 7.45 e 7.46.

Tab. 7.42 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₈.

Usina de triagem e compostagem		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Triagem mecanizada e compostagem	100	1,0
Triagem mecanizada OU Compostagem	86.75	0,9
Triagem manual	36.84	0,7
Inexistente	-110	0,0

Tab. 7.43 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₃₉.

Planta de biogás		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Em operação	100	1,0
–	–	–
Projeto em andamento	69.66	0,7
Inexistente	0	0,0

Tab. 7.44 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₄₀.

Gasoduto e pontos de entrega		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Gasoduto e ponto de entrega	100	1,0
Gasoduto	73,64	0,7
Projeto de gasoduto em andamento	46,39	0,5
Inexistente	0	0,0

Tab. 7.45 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₄₁.

Linhas de transmissão e subestação de energia		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Linhas de transmissão e subestação de energia	100	1
Linha de transmissão e projeto de subestação em construção	68,75	–
Linha de transmissão	37,50	–
Inexistente	0	0

Tab. 7.46 - Limites e limiares superiores e inferiores referente aos descritores, escala Macbeth e valores normalizados para o indicador C₄₂.

Biorrefinaria para a recuperação de biorresíduos urbanos		
Descritor	Escala Macbeth	Valor Normalizado
Em Operação	100	1,0
Projeto em construção	81,25	0,9
,Projeto aprovado	56,25	0,8
Inexistente	-110	0,0

7.8 Passo a passo para a utilização e atualização do *Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana*

A adoção de um "passo a passo" pode ser de grande auxílio na superação das questões relacionadas ao tempo e ao conhecimento técnico. Ao fornecer instruções claras e sequenciais, é possível adquirir rapidamente o conhecimento necessário para utilizar a ferramenta de forma eficaz. Essa abordagem facilita o processo de aprendizagem, permitindo que seus usuários avancem gradualmente, compreendendo cada etapa e adquirindo a cognição necessária para o uso adequado da ferramenta. Dessa forma, é possível minimizar

as barreiras proporcionando uma experiência mais acessível e produtiva (Kolfshoten et al., 2010).

Para o cálculo dos valores a serem considerados, deve ser realizada a multiplicação de cada valor normalizado pelo seu peso correspondente (Tab. 7.3) Essa multiplicação reflete a importância relativa de cada indicador para o Índice Composto. Em seguida, os produtos obtidos para cada variável são somados. Essa soma resulta no valor do índice composto para cada observação no conjunto de dados. Supondo que existam três variáveis: $C_{(x)}$, $C_{(y)}$ e $C_{(z)}$. Após padronizar os dados e atribuir pesos, se multiplica o valor padronizado da variável x pelo peso atribuído a ela, e assim por diante. Em seguida, soma-se os produtos (valor padronizado de $C_{(x)}$ * peso de $C_{(x)}$) + (valor padronizado de $C_{(y)}$ * peso de $C_{(y)}$) + (valor padronizado de $C_{(z)}$ * peso de $C_{(z)}$). O resultado dessa soma será o valor do índice composto. Nos casos em que um município apresente menos de 50% dos indicadores para uma categoria, a avaliação é considerada cinza por falta de dados. Com base nos pesos globais, o Índice composto para o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana é obtido por meio da soma aditiva entre os clusters de acordo com a Equação 2:

$$IDBCU = VnC1 * VgC1 + VnC2 * VgC2 + \dots VnC3 * VgC3 + \dots \dots VnC42 * VgC42 \quad (2)$$

Onde:

$VnC(x)$ = Valor normalizado atribuído a cada um dos indicadores de acordo com os dados municipais;

$VgC(x)$ = Valor dos pesos globais cada um dos indicadores (ver Tab. 7.3).

A fim de avaliar o nível de desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana e mensurar seu progresso, a pesquisa apresenta uma proposta de escala de maturidade. O objetivo desta escala é auxiliar na avaliação e identificação de áreas que necessitam de aprimoramento e práticas recomendadas, considerando o desempenho das práticas propostas em relação à sua aderência. Para tal fim, é utilizada uma pontuação que varia de 0 a 100, com 5 níveis distintos de desempenho apresentados a seguir:

- Péssimo (0 a 20 pontos): É o nível mais baixo de maturidade, onde os processos são *ad hoc*, caóticos e imprevisíveis. Não há padronização ou documentação dos processos, e os resultados dependem de esforços individuais. A qualidade e eficiência são baixas, e o desenvolvimento da narrativa é significativamente limitado, com poucas medidas implementadas para gestão de resíduos, uso eficiente de recursos e criação de valores socioeconômicos.

- Ruim (21 a 40 pontos): Nesse nível, os processos apresentam um certo grau de documentação, com práticas básicas de gerenciamento estabelecidas. Há algum grau de planejamento e monitoramento dos processos, embora haja variação e inconsistência. A qualidade e eficiência não são ideais. Embora algumas iniciativas possam estar em andamento, o desenvolvimento da narrativa ainda é insuficiente, com falta de estratégias abrangentes e coordenação entre os setores relevantes.
- Regular (41 a 60 pontos): Nesse nível, há um entendimento das metas e objetivos dos processos e como eles se alinham às estratégias estabelecidas, de modo que as práticas são adotadas e integradas. Existe um certo nível de coordenação e colaboração entre atores e as partes interessadas. As políticas e estratégias começam a ser implementadas, incentivando a transição para um modelo mais circular, com iniciativas para promover a colaboração entre os setores, melhorar a eficiência de recursos e promover a recuperação dos biorresíduos.
- Bom (61 a 80 pontos): Nesse nível, os processos são tendem a ser monitorados por meio de dados e métricas. Há uma abordagem sistemática para identificar, analisar e mitigar os riscos, e uma cultura de melhoria e inovação se estabelece. O desenvolvimento da narrativa apresenta resultados mais concretos, com a adoção de práticas circulares integradas às políticas e estratégias. Medidas efetivas são implementadas para reduzir a produção de resíduos, promover a recuperação e reutilização dos biorresíduos, e incentivar a inovação em produtos e processos.
- Excelente (81 a 100 pontos): Esse é o nível mais alto de maturidade, em que os processos são monitorados e aprimorados continuamente por meio de *loops* de *feedback* e práticas preconizadas. Há uma abordagem proativa para antecipar e responder às mudanças nas necessidades e nas condições de governança, explorando novas oportunidades e demonstrando alto grau de resiliência quanto aos processos de biosimbiose urbana. Nesse estágio de maturidade, a Bioeconomia Circular Urbana está desenvolvida, com práticas relacionadas à recuperação de resíduos, agricultura urbana e infraestruturas verdes interagindo de maneira integrada às políticas públicas. Os ecossistemas urbanos demonstram liderança em práticas circulares, alcançando altos níveis de eficiência de recursos, minimizando o desperdício e maximizando os valores socioeconômicos.

Considerando que as agendas dos tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas refletem a natureza agitada e exigente de suas responsabilidades, esses atores encontram-se imersos em uma infinidade de compromissos que consomem seu tempo e

energia. Em um cenário em que cada decisão tomada pode ter um impacto significativo em sua comunidade, estado ou nação como um todo, é fundamental proporcionar-lhes recursos práticos e diretos que facilitem seu trabalho (Cerna, 2013). Nesse sentido, o acesso a informações relevantes e confiáveis desempenha um papel central na capacidade dos tomadores de decisão de formular políticas eficazes e responsáveis. Por meio de fontes de dados precisas e atualizadas, eles podem se manter informados sobre os desafios emergentes, as tendências socioeconômicas e as necessidades prioritárias das partes interessadas. Dessa forma, esses atores estarão melhor preparados para abordar as questões complexas que enfrentam, embasando suas decisões em dados sólidos e conhecimento especializado (Elliott et al., 2021). A Fig. 7.1 ilustra o ciclo de monitoramento para o desenvolvimento da bioeconomia circular urbana.

Fig. 7.1 - Etapas para avaliar o grau de desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana.



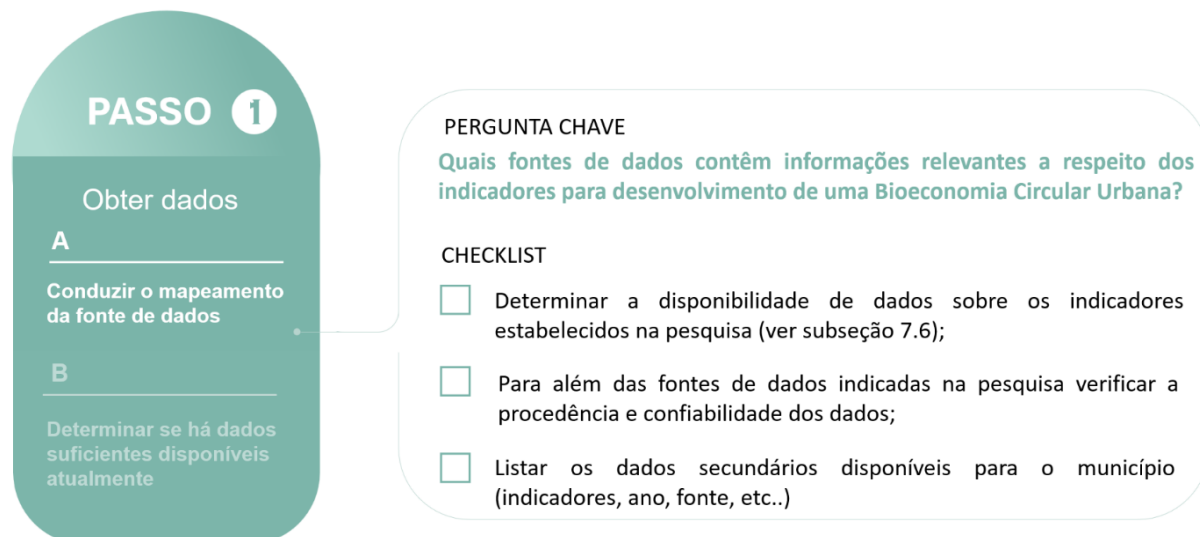
O mapeamento das fontes de dados é um processo sistemático que envolve a catalogação e descrição detalhada dos dados disponíveis para o monitoramento. Esse processo inclui informações como a fonte de dados, o ano de coleta, a representatividade, a população abrangida, a acessibilidade dos dados e o escopo geográfico, sendo uma etapa essencial na obtenção dos fluxos de dados (Kraak & Ormeling, 2020). As fontes de dados constituem as origens dos fluxos de informações, podendo variar em formato, volume e

velocidade. Mapear as fontes de dados consiste em conectar uma nova fonte de dados a um fluxo já existente e especificar como os campos da nova fonte irão substituir ou corresponder aos do fluxo existente. Esse procedimento contribui para estruturar, tornar coesos e tornar os dados mais acessíveis para análises e processamentos adicionais. Ao realizar o mapeamento das fontes de dados, os pesquisadores têm a oportunidade de explorar diferentes abordagens para coletar e integrar dados, ampliando suas possibilidades além do que foi abordado na pesquisa atual (Guerrero-Bote et al., 2021; Singh et al., 2021). É recomendável priorizar o uso de dados secundários provenientes de fontes dados oficiais sempre que possível, considerando que a coleta de dados primários pode ser uma tarefa dispendiosa e exige conhecimento técnico. Dentre as fontes de dados, destacam-se as pesquisas de base populacional, como as pesquisas demográficas e de saúde, que fornecem informações relevantes, principalmente relacionadas às dimensões de desigualdade. Além disso, os dados administrativos desempenham um papel importante, uma vez que contêm informações sociais interligadas ao sistema de saúde e refletem os serviços prestados. Vale ressaltar que os dados administrativos são gerados com maior frequência, o que possibilita um acompanhamento mais próximo das tendências ao longo do tempo (Hosseinpour et al., 2018).

As consultas aos bancos de dados nacionais são fontes úteis de informações para o desenvolvimento de estudos em nível local, pois podem fornecer uma perspectiva ampla sobre tendências e problemas que afetam diferentes regiões e populações. Entretanto, se os dados existentes forem insuficientes, pode ser necessária uma coleta adicional de dados primários. A coleta de dados primários refere-se ao processo de coleta de novas informações diretamente da população-alvo ou do fenômeno de interesse. Embora a presente pesquisa não forneça diretrizes específicas para a coleta de dados primários, é útil compreender os requisitos para orientar o planejamento e o desenvolvimento de atividades futuras. Dependendo dos objetivos da pesquisa, podem ser usados diferentes métodos de coleta de dados primários, como pesquisas, entrevistas, grupos focais, observações, experimentos ou etnografias. Cada método tem seus próprios pontos fortes e limitações em termos de validade, confiabilidade, generalização e viabilidade. Nesse sentido, os tomadores de decisão e os pesquisadores envolvidos no processo da coleta de dados precisam selecionar cuidadosamente o método ou a combinação de métodos mais adequados para seus estudos em nível local, levando em conta a disponibilidade de recursos, complexidade e despesas. A

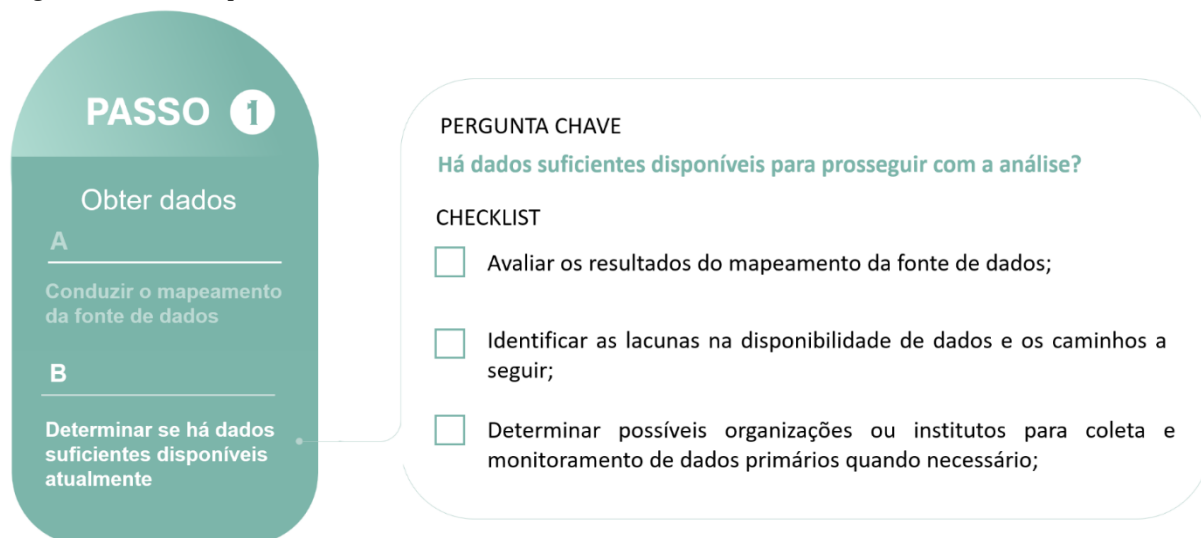
Fig. 7.2 apresenta um *checklist* com os principais requisitos para conduzir o mapeamento das fontes de dados.

Fig. 7.2 - *Checklist* para o mapeamento da fonte de dados.



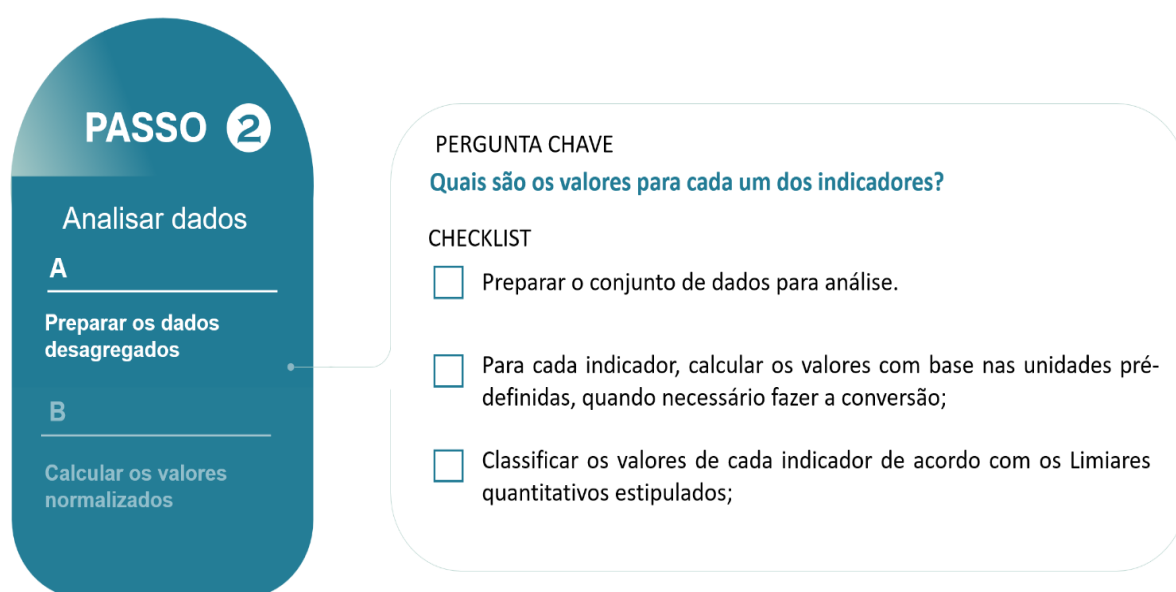
É essencial que o projeto e a implementação dos esforços de coleta de dados incluam a contribuição das partes interessadas afetadas e dos grupos que as representam, a fim de garantir que as práticas de coleta de dados protejam seus direitos e interesses, incluindo a criação de protocolos adequados de proteção e armazenamento seguro dos dados. Em termos práticos, é importante considerar se os dados estão disponíveis e acessíveis em um formato que permita a análise, por exemplo, se são necessárias permissões especiais para acessar o conjunto de dados ou se é necessário realizar uma "limpeza" nos dados para remover valores incorretos, não confiáveis, duplicados, fora do padrão ou inadequados. A Fig. 7.3 ilustra um *checklist* dos principais requisitos para determinar se há dados suficientes disponíveis.

Fig. 7.3 - *Checklist* para o determinar a suficiência de dados.



Na segunda etapa, a análise de dados gera descrições numéricas dos padrões e da magnitude para os limites e limiares propostos. A preparação de valores desagregados, ou seja, valores não normalizados para cada indicador, é essencial, pois permite uma inspeção inicial dos padrões propostos e permiti uma análise mais detalhada. A agregação dos valores normalizados combina várias observações ou medidas em um único valor representativo. No entanto, esse processo pode ocultar informações importantes quando os valores inicialmente não são apresentados de forma individual. A Fig. 7.4 ilustra um *checklist* para preparar dados desagregados.

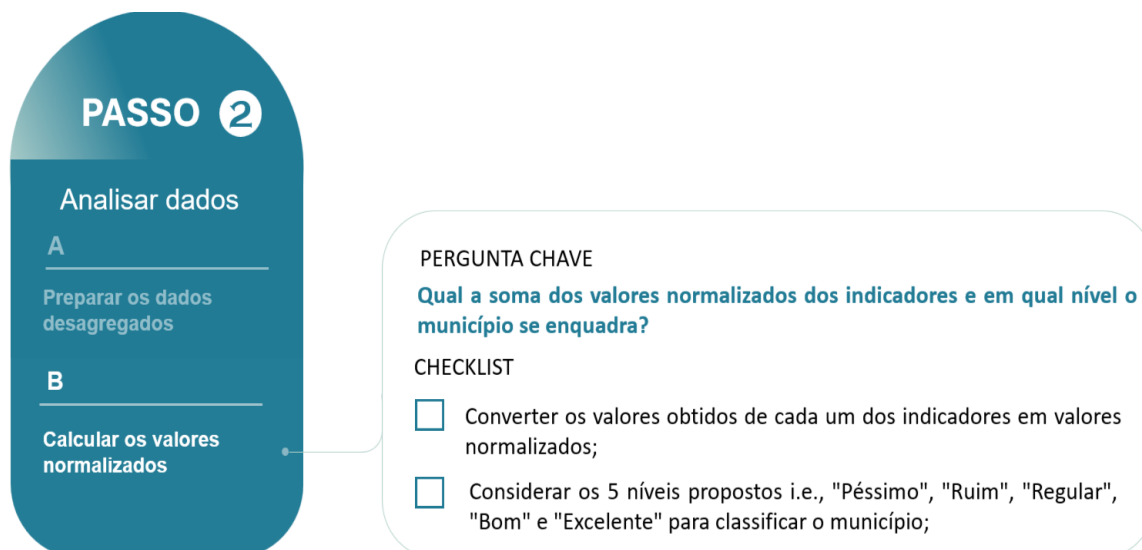
Fig. 7.4 - Checklist para preparo dos dados desagregados.



Após a normalização dos valores individuais, eles são agregados através de uma soma ponderada, proporcionando uma representação sucinta e abrangente do grau de maturidade do desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana. Essa agregação se revela especialmente eficaz quando dados comparáveis estão disponíveis ao longo de vários intervalos temporais, pois permite o cálculo da evolução do indicador e do grau de maturidade como um todo. Ao utilizar a pontuação da escala de maturidade proposta, é possível não apenas quantificar o progresso, mas também identificar retrocessos. Uma abordagem simplificada para avaliar as mudanças ao longo do tempo consiste em calcular e contrastar os valores normalizados em momentos distintos para um indicador específico. Esse método não apenas ressalta as flutuações temporais, mas também proporciona *insights* valiosos sobre as tendências de desenvolvimento da Bioeconomia Circular urbana, contribuindo assim para uma análise mais abrangente e embasada do progresso alcançado.

nesse contexto. A Fig. 7.5 ilustra um *checklist* para calcular os valores normalizados a fim de determinar a maturidade da Bioeconomia Circular Urbana à nível local.

Fig. 7.5 - *Checklist* para calcular os valores normalizados.

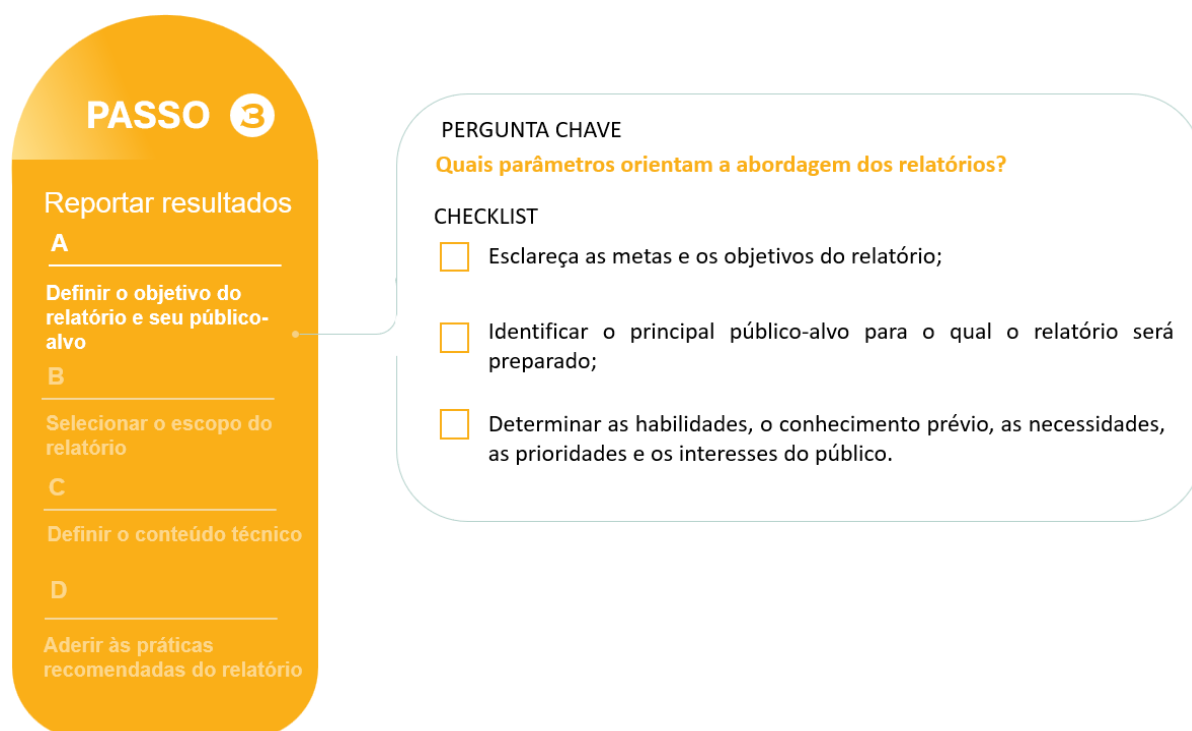


A terceira etapa concentra-se no relato dos resultados que reflete os aspectos de todas as etapas anteriores fornecendo informações relevantes. Dependendo da finalidade do relatório, ele pode ser um precursor das atividades de tradução do conhecimento ou ser incorporado a esses processos. As atividades de relatório devem começar com uma compreensão dos resultados da análise de dados. A interpretação dos resultados, identificação das principais descobertas, conclusões e recomendações são processos iterativos e, frequentemente, colaborativos, que exigem conhecimento dos aspectos técnicos da análise, assim como o conhecimento sobre a população e o público-alvo. Uma vez estabelecidos os parâmetros para um resultado de relatório específico, o escopo do relatório, o conteúdo técnico e o método de apresentação dos dados podem ser determinados. Seguir uma lista de verificação de práticas recomendadas para elaboração de relatórios e garantir o envolvimento e das partes interessadas ajuda a assegurar que as informações necessárias sejam reportadas para contextualizar adequadamente os resultados e, que esses resultados possam ser adaptados às necessidades das partes interessadas.

Lembrando que o principal motivo para desenvolver um Índice Composto para mensurar o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana é promover a equidade e melhorar as condições de saúde e bem-estar das populações desfavorecidas, as metas e os objetivos dos relatórios devem estar alinhados com essa visão mais ampla. O desenvolvimento de metas e objetivos claros para os relatórios ajudará a garantir que as

atividades de relatório sejam projetadas para alcançá-los. O relatório, por exemplo, pode apresentar uma visão geral aos formuladores de políticas públicas sobre a situação urbana local ao longo da última década, com o objetivo de integrar a equidade aos objetivos e metas futuras para superar os desafios transversais de uma economia de base biológica. Os relatórios também podem fornecer um quadro detalhado aos tomadores de decisão de programas à níveis estaduais e nacional sobre a situação local atual, com o objetivo de informar a alocação de recursos e as atividades do programa afim de atingir uma maior porção da sociedade que se encontra em situações desfavoráveis. Nesse cenário, estar familiarizado com o conhecimento prévio, as habilidades, as necessidades, as prioridades e os interesses do público ajudará a orientar as decisões de relatório e a aumentar o impacto geral do relatório. As Fig. de 7.6 a 7.9 apresenta um *checklist* a fim de definir os objetivos, público-alvo, escopo, conteúdo técnico e práticas recomendadas.

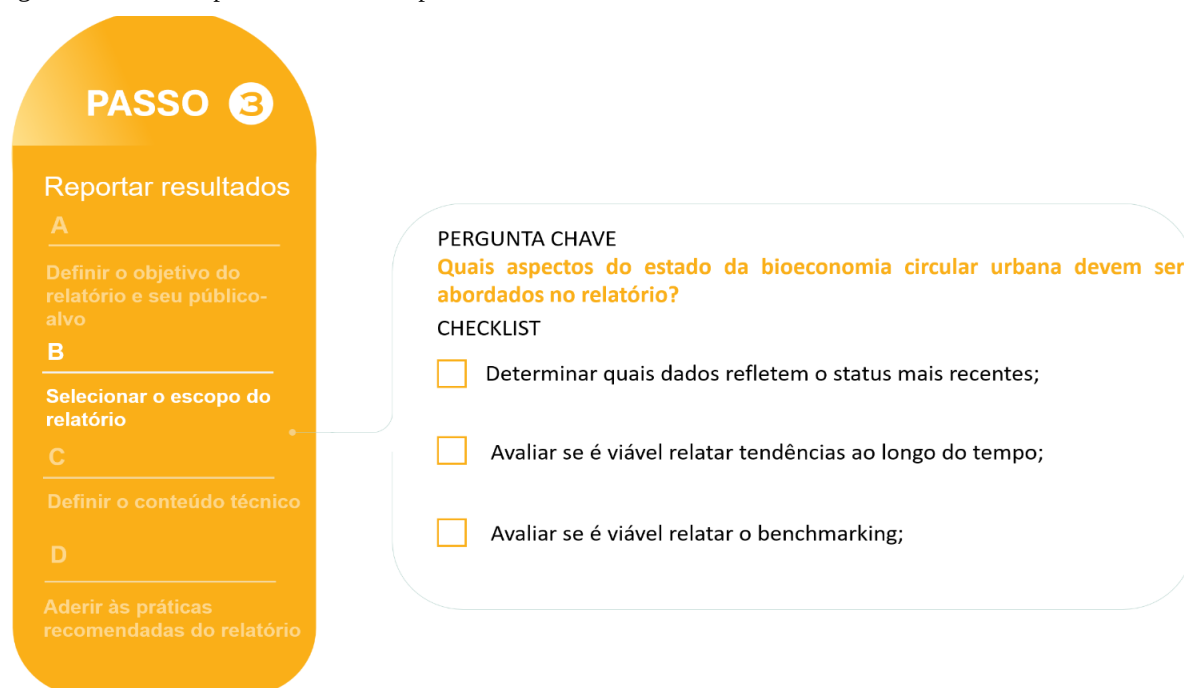
Fig. 7.6 - *Checklist* para definir o objetivo e público-alvo do relatório.



A seleção do escopo, exige uma consideração dos componentes gerais do relatório. No mínimo, o relatório deve apresentar os dados mais recentes nas bases de dados das fontes secundárias. As tendências temporais e o *benchmarking* devem ser relatados se a disponibilidade de dados permitir. Ao relatar o *benchmarking*, são apresentados os resultados dessa comparação, destacando as diferenças de desempenho entre o local analisado e seus pares, fornecendo uma visão clara e objetiva do desempenho em comparação com o

benchmark estabelecido e apresentando recomendações para melhorias. Além disso, é aconselhável incluir análises qualitativas para entender as práticas e estratégias adotadas. As informações sobre tendências temporais fornecem uma visão geral de como as desigualdades socioeconômicas mudaram e se a situação está melhorando ou piorando. Elas ajudam a descobrir até que ponto os desafios locais estão sendo tratados de forma eficaz ao longo do tempo.

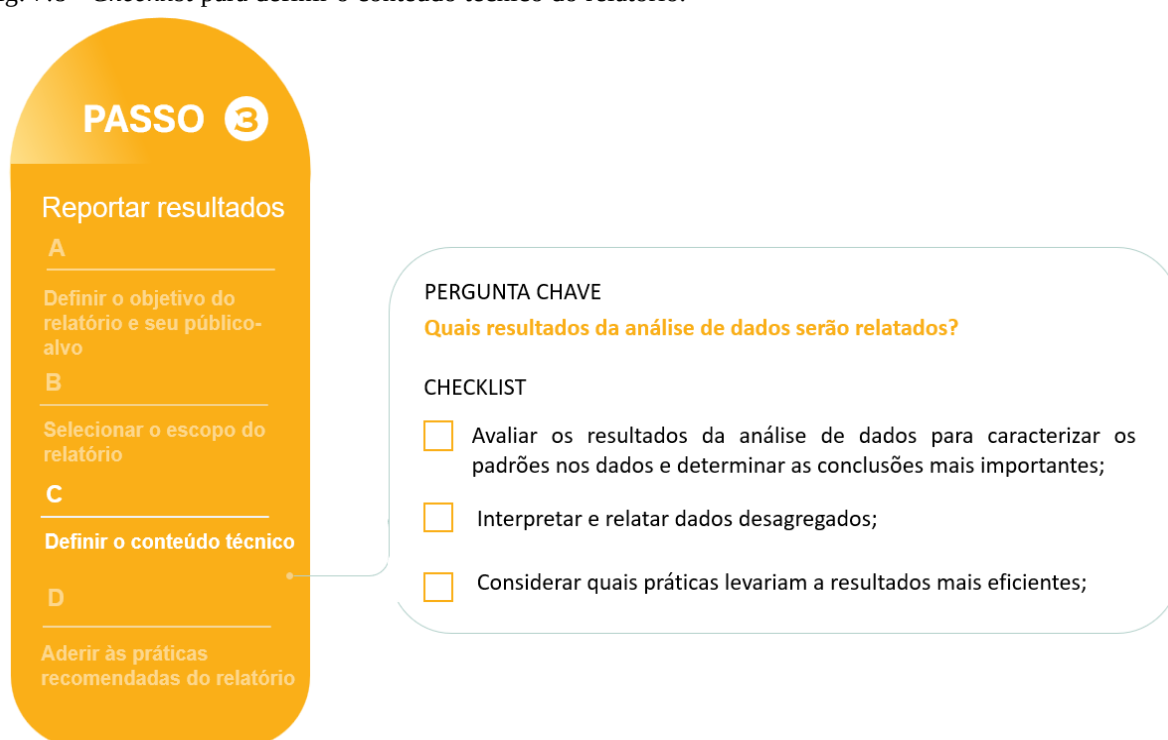
Fig. 7.7 - Checklist para definir o escopo do relatório.



Os principais resultados e conclusões dos relatórios devem derivar dos valores obtidos e serem apoiados pelo conteúdo técnico. Os valores para cada indicador deve ser examinado detalhadamente para verificar padrões e desenvolver "mensagens" para as partes interessadas. De modo que para alcançar um equilíbrio entre as necessidades dos atores, partes interessadas e conservação dos ecossistemas naturais é essencial compreender e administrar expectativas (Riege & Lindsay, 2006). Para administrar eficazmente as expectativas, é necessário estabelecer prioridades e identificar os atores chaves com base em seu nível de influência e interesse na mudança. Além disso, a comunicação eficaz é a chave para trabalhar com a sociedade civil em geral. Devem ser estabelecidos canais de comunicação precisos e confiáveis para manter esses atores informadas sobre a visão, objetivos, benefícios e progresso da mudança. As atualizações regulares podem ajudar a manter as partes interessadas informadas e engajadas, sendo que as sugestões devem ser levadas em consideração na tomada de decisões e no planejamento. Outro ponto chave é a

gestão de *trade-offs*, que requer honestidade e abertura sobre o que a mudança pode ou não alcançar, bem como seus custos e recompensas. Um projeto deve comunicar que embora uma mudança proposta traga benefícios como aumento de eficiência ou redução de custos, ela também pode resultar em impactos negativos. Qualquer oposição ou conflito que surja entre ou dentro de grupos de atores e partes interessadas deve ser reconhecido. Soluções e pontos de acordo devem ser acordados por meio da colaboração e processos de melhoria.

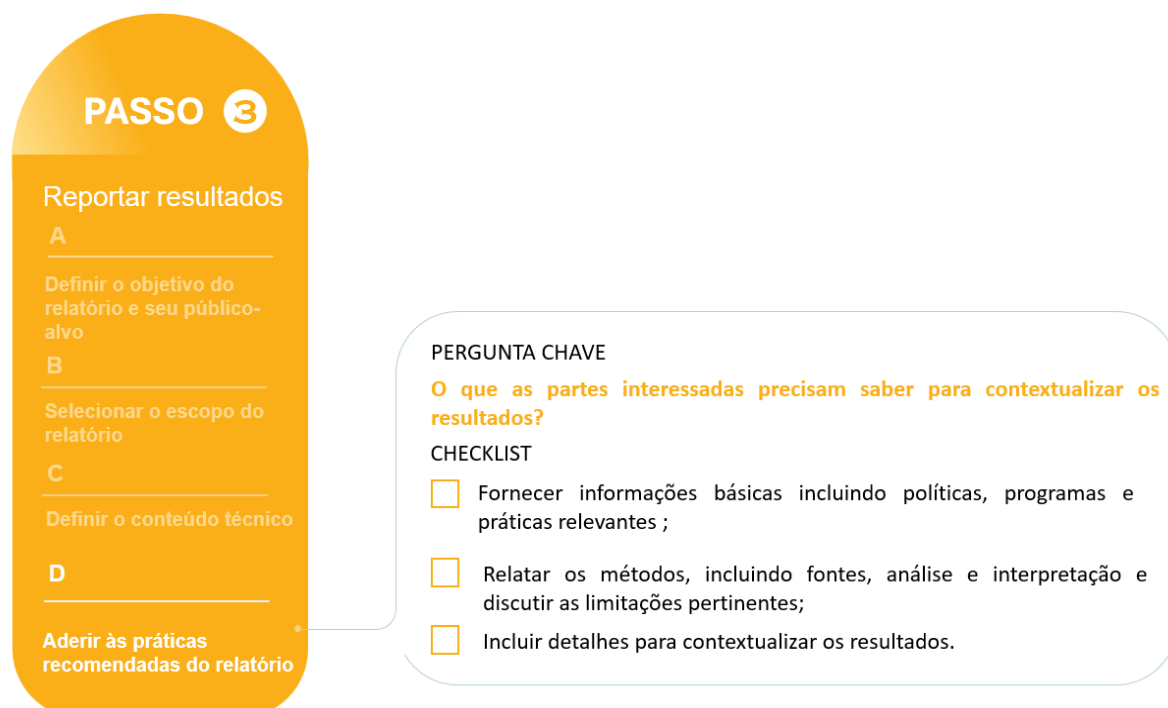
Fig. 7.8 - Checklist para definir o conteúdo técnico do relatório.



Os dados desagregados são um bom ponto de partida para o relatório, pois apresentam as informações de forma direta e transparente. A identificação de padrões em dados desagregados, como gradientes entre indicadores socioeconômicos, pode ser uma maneira eficiente de descrever a necessidade da adoção de novas práticas. O valor normalizado na escala de maturidade resultante se torna um ponto chave para compreender e apresentar os resultados, tendo em mente sua interpretação e limitações. Se os valores desagregados e da soma dos valores normalizados sustentarem as mesmas hipóteses e conclusões, é preferível relatar as medidas simples mais diretas e fáceis de entender. Um relatório técnico pode ser justificado para apresentar uma descrição mais matizada da situação, conforme apropriado para o público e o escopo do relatório. Embora seja importante ter uma justificativa sólida para as conclusões relatadas, o nível de detalhes subjacente e os resultados apresentados deve refletir a finalidade e o escopo do relatório.

A adesão às práticas recomendadas é uma forma de verificar se as partes interessadas têm todas as informações técnicas e não técnicas necessárias subjacentes às principais mensagens, recomendações e conclusões do relatório. Essas práticas tornam os relatórios mais transparentes e completos, fortalecendo, assim, o caso de aderir a práticas a fim de superar os desafios transversais dos ecossistemas urbanos. As informações básicas sobre o foco da mensuração de cada um dos indicadores do índice composto para o desenvolvimento da bioeconomia circular urbana ajudam as partes interessadas e atores-chave a entender por que o desenvolvimento de uma bioeconomia urbana tem a capacidade de superar os desafios locais. A inclusão de informações qualitativas, fotos ou histórias pessoais pode ajudar a humanizar o relatório e torná-lo mais atraente. Por exemplo, ao analisar a participação da agricultura comunitária e familiar, é essencial garantir que as conclusões e recomendações sejam relevantes, sensíveis ao gênero, cultura e não perpetuem o estigma, a discriminação ou a recriminação contra grupos desfavorecidos. Além disso, a comunicação de diferentes tipos de informações fornecerá um quadro mais completo das desigualdades. Os relatórios devem incluir os dados mais recentes disponíveis sobre o estado da desigualdade e, sempre que possível, tendências para mostrar a mudança ao longo do tempo. O *benchmarking* permitirá comparações com o padrão ou com os resultados de melhor desempenho para melhoria contínua. Deve-se tomar cuidado para garantir que as mensagens sejam precisas e que sejam fornecidas informações de apoio suficientes sobre os detalhes da análise.

Fig. 7.9 - Checklist para aderir às práticas recomendadas.



A quarta e última etapa do processo consiste na tradução do conhecimento. Essa etapa envolve a síntese, troca e aplicação do conhecimento por parte dos principais atores e partes interessadas, visando acelerar a implementação e o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana. Quando a tradução do conhecimento ocorre de forma eficaz, as evidências geradas são utilizadas para promover mudanças e alcançar a criação de valores socioeconômicos. Isso requer um esforço direcionado para incluir de forma mais ampla dados que reflitam as características socioeconômicas locais, resultando em um impacto real na forma como planejar e gerenciar os ecossistemas urbanos. No processo de desenvolvimento da bioeconomia circular urbana, alguns elementos que podem orientar esse processo incluem:

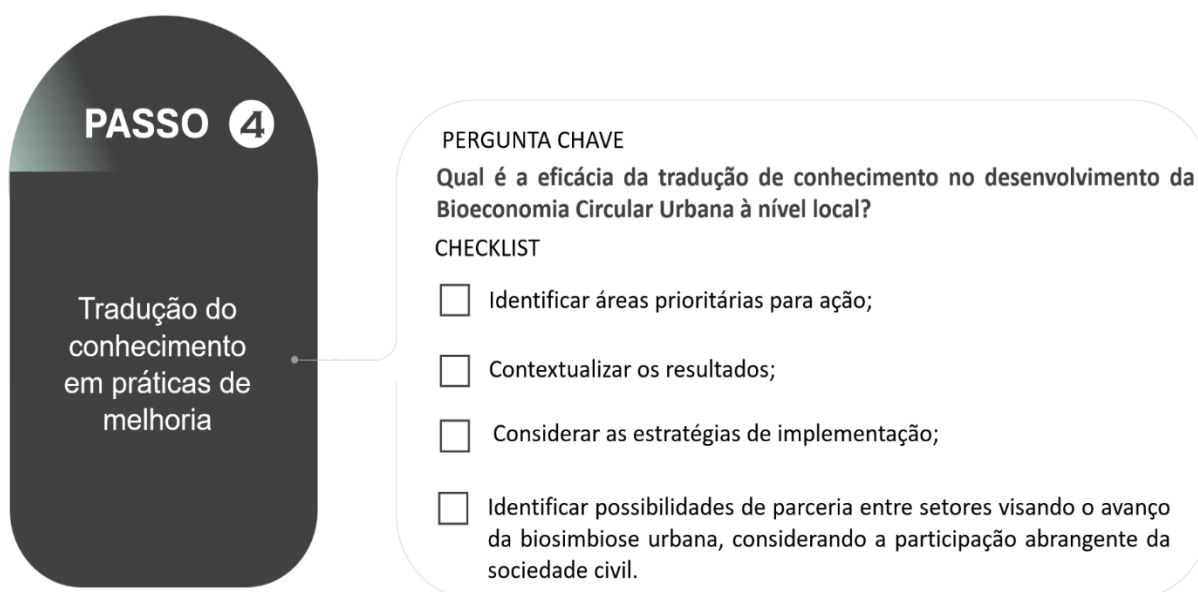
- (i) Identificar áreas prioritárias para ação: Com base na análise do âmbito local, das necessidades e das práticas potenciais, é necessário identificar as áreas mais relevantes e viáveis para a implementação. Isso pode incluir a valorização de biorresíduos urbanos, o desenvolvimento de tecnologias para recuperar os biorresíduos, a promoção da agricultura urbana e espaços verdes como fontes de biomassa, e a promoção da inovação social por meio de uma mudança de paradigmas;
- (ii) Contextualizar os resultados: A contextualização dos resultados ajuda a avaliar a sua validade, fiabilidade e significado, bem como a compará-los com outros estudos e conclusões. É importante levar em conta considerar características específicas, como a geografia, demografia, economia, cultura e governança. Além disso, é necessário avaliar os impactos e efeitos rebotes da evolução da Bioeconomia Circular Urbana, considerando desde a produção até o consumo e o descarte;
- (iii) Considerar estratégias de implementação: Ao longo da implementação de uma Bioeconomia Circular Urbana, a contextualização torna-se inviável e é essencial procurar padrões utilizando métodos evolutivos. Isto significa aplicar técnicas que se inspiram na evolução natural e nos seus princípios de variação, seleção e herança, para descobrir regularidades, estruturas ou funções nos dados que possam revelar informação sobre os mecanismos subjacentes e a dinâmica do fenómeno.. A procura de padrões por meio de métodos evolutivos ajuda a compreender o comportamento, a função ou a evolução do fenómeno, bem como a identificar as suas propriedades emergentes e potenciais aplicações. Uma abordagem sistêmica e colaborativa, envolvendo diversos atores e partes interessadas de diferentes setores requer

estratégias. Além disso, são necessárias políticas de apoio, regulamentações e incentivos a busca de padrões. A promoção da inovação, P&D também é fundamental para gerar novos conhecimentos e soluções;

- (iv) Identificar possibilidades de parceria entre setores: A Bioeconomia Circular Urbana oferece oportunidades para a criação de parcerias entre setores, visando aumentar a criação de valor, a eficiência de recursos e o desenvolvimento sustentável. Identificar e conectar possíveis parceiros, como tomadores de decisão, empresas privadas, instituições de pesquisa, organizações da sociedade civil, cidadãos e consumidores, é essencial para desenvolver projetos e iniciativas conjuntas.

A Fig. 7.10 ilustra um *checklist* a fim de identificar os principais tópicos para tradução do conhecimento em práticas de melhora.

Fig. 7.10 - *Checklist* para tradução do conhecimento adquirido em práticas de melhoria local.



8. DISCUSSÕES

Uma lacuna sistêmica na garantia da qualidade na interface entre a ciência e a política tem se apresentado e uma maior consciencialização do colapso iminente dos nossos sistemas de suporte de vida. Essa lacuna combinada com rápidas mudanças na ordem global tem criado uma exigência de reavaliação da identidade das sociedades. Nos sistemas socioecológicos, a ação política é direcionada para a preservação e adaptação da identidade dos sistemas auto-organizados e a qualidade da informação proveniente do setor acadêmico está intrinsecamente relacionada à sua pertinência para os objetivos políticos. Assim, existe uma necessidade premente de uma abordagem mais coerente e equilibrada na busca por soluções sustentáveis. A mudança de paradigmas em direção a uma economia de base biológica capaz de valorizar os biorresíduos urbanos, desenvolver infraestruturas verdes e se integrar a uma agricultura urbana e periurbana de modo que esses três elementos partilhem do mesmo escopo, possibilitaria superar alguns dos principais desafios socioeconômicos no cenário nacional, como reduzir a quantidade de biorresíduos descartados de maneira irregular em aterros e lixões a céu aberto, aumentar a resiliência urbana e proporcionar o estabelecimento de cadeias de valor locais mais justas e equitativas. Entretanto, assim como qualquer outra política estratégica, a Bioeconomia Circular deve essencialmente ser avaliada e otimizada usando critérios para atingir metas de adequação (Moktadir et al., 2022).

A primeira barreira a ser superada é o equilíbrio de poder que tende a favorecer opções de transição mais suaves. Entretanto, algumas das estratégias de inovação social que poderiam ser postas em prática exigem mudanças profundas na forma como a sociedade é enquadrada como parte interessada e não um ator chave. Nesse sentido, é de suma importância desenvolvermos um conjunto de costumes e hábitos essenciais em relação ao comportamento, que possam ser adotados por todos, promovendo uma visão compartilhada e uma abordagem coesa. Em segundo lugar, é imprescindível adotar um *design* colaborativo capaz de traçar trajetórias de transição específicas, com ênfase na justiça social e na restauração do capital natural. Um ponto de partida viável é a reflexão sobre a perspectiva de Georgescu-Roegen acerca do decrescimento econômico, o que poderia abrir caminho para abordagens mais equitativas e sustentáveis com foco na resolução das desigualdades socioecológicas emergentes.

A narrativa da Bioeconomia Circular Urbana tem o potencial de inspirar diferentes atores e partes interessadas a desenvolver práticas inovadoras, sem necessariamente

depender de avanços tecnológicos significativos ou grandes investimentos. Isso pode resultar no crescimento de iniciativas circulares em pequena escala, que, em seu cotidiano, englobam uma série de ações, incluindo iniciativas sociais, como redes emergentes voltadas para a produção sustentável de alimentos, bem como iniciativas empresariais dedicadas a práticas mais sustentáveis. Todavia, o desenvolvimento de práticas circulares de baixa tecnologia e as atualizações tecnológicas se configuram como um paradoxo adicional a ser superado.

Por um lado, as práticas circulares de baixa tecnologia têm como base a simplicidade e a utilização de recursos locais de forma eficiente, enfatizando a reutilização, a reciclagem e o reparo de produtos, buscando prolongar sua vida útil e reduzir a geração de resíduos. Essa abordagem pode ser mais acessível a comunidades com recursos limitados e promover uma maior inclusão social (Antonini et al., 2020). Por outro lado, a escassez de tecnologias dedicadas para o processo de recuperação é um dos principais obstáculos para alcançar índices mais altos de reciclagem de resíduos sólidos, especialmente os de baixo valor agregado com os biorresíduos. Essa questão é particularmente relevante no cenário nacional em que destinação adequada e a reciclagem frequentemente estão associadas ao trabalho informal e subempregos (Fuss et al., 2020).

Os mecanismos pelos quais a ciência tem evoluído e como esses dados são utilizados nos processos de desenvolvimento de políticas públicas e tomadas de decisão têm demonstrado desconexões significativas, devido às rápidas mudanças nas relações tecnológicas e à alta variabilidade dos custos, o que resulta em grandes incertezas. A capacidade de gerar valor está intrinsecamente ligada à capacidade de comercializar inovações, e os valores, por sua vez, estão diretamente relacionados às expectativas. Esse caminho, que adota uma abordagem pragmática, tem priorizado principalmente a exploração da biomassa, a criação de mercados voltados para serviços ecossistêmicos e a aplicação de princípios agroecológicos na produção primária. Um desafio central enfrentado na implementação de medidas de eficiência e conservação energética reside na carência de tecnologia adequada e nos elevados custos. Isso introduz um risco no âmbito da gestão financeira e na incerteza quanto ao retorno do investimento, o que, por sua vez, culmina em períodos de retorno indeterminados que consideravelmente restringem a adoção dessas medidas. Quantidades substanciais de energia em várias formas e até mesmo recursos primários, são dissipadas ou desperdiçadas devido a fatores como transmissão inadequada e a utilização de tecnologias ineficientes (Clark, 2019). Entretanto é extremamente perceptível

que os serviços ecossistêmicos urbanos estejam gradualmente se submetendo à mercantilização e comercialização, ao passo que serviços essenciais de responsabilidade dos governos locais estão se distanciando das experiências diretas de grande parte da sociedade. Nesse sentido, serviços essenciais relacionados aos serviços básicos a população estão sendo cada vez mais entregues a atores e estruturas especializadas. Assim, sem a formulação de políticas destinadas a promover a criação de valores para além dos aspectos puramente econômicos, torna-se desafiador, quase impossível, que as partes interessadas, principalmente as em situação de vulnerabilidade, faça escolhas cotidianas baseadas em práticas circulares e sustentáveis.

A cultura desempenha um papel significativo na determinação do que é valorizado em uma sociedade e é o principal fator na tomada de decisões sobre a alocação de recurso. As inovações e mudanças culturais frequentemente surgem a partir de iniciativas locais, o que torna fundamental apoiar tais iniciativas enquanto se busca estabelecer e avaliar o progresso em relação a padrões em níveis institucionais e macroeconômicos. Uma compreensão aprofundada dos padrões de interações de serviços ecossistêmicos com base em condições socioecológicas é um pré-requisito para alcançar cenários mais sustentáveis. Uma forma alternativa de entender a importância dos serviços ecossistêmicos no desenvolvimento de políticas de melhoria pode ser entendida quanto a sua aplicação, se abstendo das definições literais. O significado central dos serviços ecossistêmicos pode ser compreendido pelo desejo comum daqueles que o utilizam de melhorar a política e a gestão socioecológica existentes, entendendo melhor como nós, seres humanos, nos relacionamos com os ecossistemas naturais. Sob esse raciocínio, o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana pode explicar a relação entre a estrutura-processo ecológico e os benefícios do bem-estar humano, fornecendo parte da base teórica para o desenvolvimento sustentável à nível local.

O Brasil é um país com uma rica diversidade cultural e abundância em diversificadas fontes de recursos. Entretanto, ao longo de sua história, o país enfrentou vários desafios de governança e perdeu oportunidades de se tornar uma nação mais influente no cenário global assim como superar algumas questões sistêmicas. Uma das principais razões é a falta de uma visão política consistente e de longo prazo para o desenvolvimento da educação, ciência e tecnologia, motores essenciais da inovação, da produtividade e do progresso social. Considerando a evolução socioeconômica de países que à alguns décadas apresentavam

características semelhantes ao do Brasil, o investimento nesses setores proporcionou um alto impacto em superar questões estruturais como a desigualdade, a pobreza, a corrupção, a degradação ecológica e a dependência das exportações de *commodities*. Até o momento, a transição para uma Bioeconomia "circular" nacional parece ter falhado em cumprir as múltiplas formas de justiça. Preocupações distributivas, processuais, retributivas e restaurativas têm sido escassas, exceto em discursos retóricos. As políticas públicas nacionais, supostamente visam a produção de energia renovável e benefícios socioeconômicos como a criação de empregos e a redução da pobreza que tem se limitado mais às palavras do que às ações efetivas (Bastos Lima, 2022). Além disso, a maior parte dos poucos investimentos para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia assim como na educação, vem do sector público, enquanto a contribuição do sector privado para o desenvolvimento do capital intelectual é relativamente baixa comparadas a países que tem se desenvolvido por meio de práticas sustentáveis. Esta situação reflete o baixo nível de colaboração e interação entre o meio acadêmico e a indústria, bem como os elevados obstáculos e custos da inovação no setor privado. Um dos fatores que explica esse baixo desempenho é o descaso histórico e a politização do MCTI, responsável por coordenar e implementar a política nacional de ciência, tecnologia e inovação. Desde a sua criação, o MCTI tem sido objeto de frequentes alterações na sua estrutura, orçamento e liderança, dependendo do cenário político e dos interesses dos diferentes governos. O MCTI tem sido frequentemente usado como "moeda de troca" na política de coalizão que caracteriza o sistema presidencialista brasileiro, e não como um ator estratégico para o desenvolvimento do país. Como resultado, o país não tem sido capaz de formular e implementar uma visão política coerente e consistente para o desenvolvimento da ciência e tecnologia.

Apesar desses desafios, o Brasil apresenta oportunidades e pontos fortes para alavancar sua criação de valores socioeconômicos por meio do desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana. O Brasil tem a maior rede de universidades públicas da América Latina, com mais de 300 instituições que produzem cerca de metade das publicações científicas dessa região (Lewis et al., 2021). Além disso, o Brasil ostenta aproximadamente metade das universidades mais bem posicionadas, sendo notável que todas possuam caráter público. A grande maioria das instituições universitárias públicas brasileiras também se integra organicamente à sociedade, engajando-se no desenvolvimento do conhecimento em interação com as comunidades e desempenhando um papel ativo na promoção dos direitos humanos, justiça social e preservação ecológica e representam um

elemento essencial do pacto biopolítico brasileiro (Arantes, 2022). O País também conta com alguns dos institutos de investigação de classe mundial mais prestigiados, como a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), uma instituição pública vinculada ao Ministério da Saúde, referência em pesquisa, desenvolvimento e produção de imunobiológicos, medicamentos e diagnósticos; o Instituto Butantan, vinculada à Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo, um dos maiores centros de pesquisa biomédica do mundo, responsável pela produção de vacinas, soros e biofármacos e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), instituição pública vinculada ao MAPA, líder em pesquisa e inovação para o desenvolvimento sustentável da agropecuária brasileira. No entanto, nesse cenário, é imperativo adotar uma abordagem que combine tanto a coordenação quanto a harmonização como formas de integração. Isso implica não apenas em supervisionar e regular os efeitos prejudiciais das atividades antrópicas sobre a biodiversidade, mas também em desenvolver estratégias que considere o uso sustentável de bioprodutos e serviços ecossistêmicos como elementos cruciais no seu desenvolvimento. Essas estratégias devem ser elaboradas em colaboração abrangente com a participação ativa de movimentos sociais do campo e organizações da sociedade civil que estejam comprometidos com causas de cunho socioecológico. Dessa maneira, uma gama mais ampla de interesses intrinsecamente ligados aos ecossistemas naturais poderá ser abordada, fornecendo a base para a formulação de estratégias de desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular que seja ambiciosa e orientada para enfrentar desafios como a redução da pobreza, segurança alimentar e restauração dos ecossistemas naturais.

Assim, torna-se importante considerar a Bioeconomia Circular Urbana como uma estratégia competitiva a fim de superar alguns dos principais desafios, tais como a falta de infraestrutura e de políticas eficientes de gestão de resíduos, os riscos à saúde pública e o desperdício de recursos, estimulando a colaboração entre os diferentes atores envolvidos, como ciência, indústria, governo e sociedade civil. Nesse processo, torna-se imperativo estabelecer políticas públicas que incorporem uma estrutura de governança claramente definida, estabelecendo o escopo de atuação e estipulando objetivos pretendidos, além de disponibilizar os instrumentos necessários para alcançá-los. A sinergia entre as práticas de aprendizagem prática, profissionalização e parceria demonstra-se como um fator determinante para o progresso. Especificamente, a aprendizagem por meio da ação emerge como elemento essencial para aprofundar o conhecimento, enquanto a parceria propicia a ampliação das ações e a profissionalização impulsiona a disseminação.

O desenvolvimento de uma narrativa constitui um processo de concepção e teste de um conjunto de ideias destinadas a explicar e prever fenômenos e se configura como uma estrutura coerente, respaldada por evidências empíricas e raciocínios lógicos. Tal estrutura permite que suas bases teóricas seja ajustada ou refinada à medida que novas evidências ou conhecimentos emergem. No entanto, é importante ressaltar que, embora o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana em determinado "contexto" possa envolver complexidade e desafios, as questões socioecológicas e econômicas não são inteiramente únicas, refletindo em graus variados um conjunto de características, desafios e estruturas recorrentes de governança. *"As variáveis contextuais são essenciais para entender o desenvolvimento inicial de uma teoria, bem como os desafios que os regimes auto-organizados devem tentar superar. No entanto, simplesmente dizer que o contexto é essencial não é, uma abordagem teórica válida. Adotar uma abordagem evolutiva é o primeiro passo em direção a uma síntese teórica que aborda a questão de como o contexto é importante"* (Ostrom, 2000, p.3). A essência dessa abordagem reside na análise comparativa do comportamento de diferentes localidades diante de desafios específicos. Na gestão de resíduos, por exemplo, quando um local está no processo de implementar um sistema voltado para a separação de materiais recicláveis e sua subsequente recuperação, a abordagem evolutiva se apresenta como uma estratégia sensata. Ao analisar como variados municípios lidam com a questão da separação de resíduos, examinando suas práticas e comportamentos, torna-se possível identificar abordagens bem-sucedidas que podem ser adotados de forma padronizada. Tais práticas, uma vez estabelecidas, podem ser ajustadas para atender às necessidades específicas de diferentes áreas. Por conseguinte, esses modelos podem ser disseminados e aplicados por outras cidades que compartilham características socioeconômicas semelhantes.

Nesse sentido, o mecanismo de estabilização estabelece o alicerce para o desenvolvimento da iniciativa, seja em termos de aprofundamento, expansão ou disseminação. Por sua vez, os mecanismos de incorporação e replicação desempenham papéis cruciais na integração e difusão da abordagem, do conhecimento e das práticas oriundas da iniciativa (Schagen et al., 2023). Os mecanismos de incorporação e replicação estão envolvidos na integração e disseminação da abordagem, dos conhecimentos e das práticas de uma iniciativa. O mecanismo de incorporação refere-se ao alinhamento das iniciativas circulares com as estruturas, culturas e normas existentes na sociedade, por meio da adaptação aos valores e necessidades locais. A integração pode facilitar a aceitação e a

adoção de iniciativas circulares por potenciais utilizadores ou seguidores. O mecanismo de replicação refere-se à multiplicação de iniciativas circulares em diferentes locais ou escalas, por meio da transferência ou partilha dos seus modelos ou experiências. A replicação pode aumentar a difusão e o impacto das iniciativas circulares em cidades ou regiões.

A definição de metas pode auxiliar na identificação de parâmetros indesejados e sugerir oportunidades para transformações estruturais. No entanto, as "soluções transformadoras", não são pacotes prontos que possam ser implementados do "da noite para o dia". Existe a necessidade de desenvolver abordagens e maneiras de se engajar continuamente na solução de problemas e na reorganização dos sistemas. A governança para criação de caminhos para criação de valores socioeconômicos exige uma governança local efetiva, fortalecendo a resiliência urbana. A governança efetiva deve ser definida em um enquadramento de sistemas complexos e multiescalar para orientar as transformações e o desenvolvimento do sistema. Especialmente quando o objetivo é efetuar a transformação em uma escala específica ou em um aspecto do sistema, superando a necessidade de atingir um equilíbrio em torno de um alvo de transformação. O foco na dinâmica de mecanismos visíveis no desenvolvimento de práticas descentralizadas fornece uma melhor compreensão sobre como estes podem manter a mudança transformadora contínua. Com isso, as iniciativas continuam se transformando e desafiando novos aspectos e ao compreender melhor a dinâmica não linear entre os mecanismos e o *feedback* positivo, espera-se que as iniciativas possam acelerar o processo geral de aprendizagem do qual uma Bioeconomia Circular Urbana e todas as partes interessadas possam se beneficiar.

Uma questão de extrema importância a ser destacada é a necessidade de considerar os atores envolvidos na agricultura urbana, periurbana, de pequena escala e na produção cooperativa. A agricultura urbana e a produção cooperativa desempenham um papel crucial na segurança alimentar local, na geração de empregos e na promoção do desenvolvimento sustentável. No entanto, esses atores muitas vezes enfrentam desafios significativos, como acesso limitado a recursos, falta de infraestrutura e pouca representação política. Pouca ou nenhuma preocupação tem sido expressa sobre a integração ou mesmo proteção desses meios de subsistência locais, onde questões de trabalho e uso da terra são direta e negativamente afetados pela produção das monoculturas em grande escala (Bastos Lima, 2022).

As áreas periurbanas são frequentemente caracterizadas pela sobreposição de funções como agricultura, indústria, habitação e conservação. Essas funções podem criar conflitos

ou complementaridades entre os serviços ecossistêmicos e os interesses de diferentes partes interessadas. Essas áreas enfrentam desafios significativos relacionados à gestão de resíduos, pois muitas vezes carecem de infraestrutura e serviços adequados para coleta e disposição de resíduos biológicos em aterros e lixões a céu aberto. Nesse sentido, não só as atuais políticas de Bioeconomia nacional, como os tomadores de decisão locais não tem fornecido "pontos de entrada" suficientes para permitir que projetos alternativos se tornem parte de um ecossistema circular capaz de entregar valores socioeconômicos e promover a equidade, de modo que esses grupos frequentemente têm sido negligenciados e mantidos à margem dos processos políticos (Backhouse et al., 2021). Nesse sentido, ao integrar as informações do solo com outros dados biofísicos e socioeconômicos, os planejadores urbanos podem avaliar melhor as compensações e sinergias entre os serviços ecossistêmicos nas áreas periurbanas e projetar processos de planejamento mais inclusivos e participativos que levem em conta diversas perspectivas e valores. Portanto, é essencial considerar o uso do solo como uma oportunidade de pesquisa na análise espacial dos serviços ecossistêmicos em áreas periurbanas.

De acordo com a OECD (2008), um *Framework* teórico sólido é o ponto de partida para a construção de um índice composto. O quadro deve definir claramente o fenômeno a medir e os seus subcomponentes, selecionando indicadores individuais e ponderações que reflitam a sua importância relativa e as dimensões do composto global. Idealmente, este processo deve basear-se no que é desejável medir e não nos indicadores disponíveis. Nesse sentido, para o desenvolvimento do *Framework* teórico proposto para a compreensão e implementação de uma Bioeconomia Circular Urbana, argumento que uma Bioeconomia Circular pode oferecer soluções para os principais desafios sistêmicos ao aumentar a resiliência, a diversidade e a funcionalidade dos ecossistemas urbanos, bem como ao criar novas oportunidades de inovação, colaboração e participação. Para o *Framework* teórico foram identificados um conjunto de indicadores para medir e monitorizar o desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana, com base numa análise sistemática dos quadros existentes.

A elaboração de um Índice Composto para a Bioeconomia Circular Urbana brasileira representou um desafio significativo, uma vez que exigiu a obtenção de dados confiáveis e consistentes de diversas fontes, além da adoção de uma metodologia clara e coesa para sua agregação. Um dos principais pontos subjacentes é que o exponencial aumento de informações disponíveis esconde a necessidade de sua interpretação e consolidação. O

desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular é uma narrativa ainda em construção e, nem todos os governos locais estão plenamente cientes de sua importância ou dispostos a apoiar sua implementação. Alguns podem não possuir a vontade política, os recursos financeiros e/ou a capacidade técnica necessária para coletar e relatar dados sobre práticas necessárias, bem como para adotar políticas públicas capazes de criar valores além dos econômicos para uma gama limitada de atores. Além disso, pode haver conflitos de interesse ou falta de coordenação entre diferentes níveis de governo, ou entre diferentes setores dentro de uma mesma cidade ou região. Nesse sentido, a qualidade de um Índice Composto, bem como a solidez das mensagens que transmite, dependem não só da metodologia utilizada na sua construção, mas sobretudo da qualidade do quadro e dos dados utilizados (OECD, 2008).

O Índice Composto para o Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana foi elaborado partir a integração do uso de técnicas de aquisição de conhecimento colaborativo para modelagem de valor multicritério, engajando diversos atores chaves e partes interessadas, como especialistas, formuladores de políticas e sociedade civil, a fim de contribuírem com suas opiniões, *feedback* e conhecimento tácito. A síntese de evidências, processo de identificação e combinação de dados provenientes de diferentes estudos, visou criar uma compreensão clara do campo de pesquisa. Ao reunir informações provenientes de diversas fontes, a síntese de evidências visou capacitar os formuladores de políticas e tomadores de decisão a adotarem abordagens informadas e embasadas, garantindo melhores resultados e respostas mais efetivas aos desafios enfrentados em diferentes setores da sociedade. Esse processo aumentou a transparência, a legitimidade e a aplicabilidade do Índice mas também trouxe consigo complexidade e ambiguidades. A combinação de evidências e conhecimento especializado envolveu a utilização de dados e julgamentos. Os dados consistem em fatos e números que mensuram o fenômeno em análise, enquanto os julgamentos representam as opiniões e preferências dos especialistas em relação à seleção, transformação e combinação dessas medidas. Nesse sentido, equilibrar os dados e os julgamentos possibilitou assegurar que o índice reflita de maneira clara e consistente o fenômeno de interesse, garantindo assim a sua significância e relevância. Para lidar com essa questão, foi utilizada a integração do método *Delphi* e conferência de decisão multicritério por meio do método *Macbeth* para esclarecer e convergir os sistemas de valores no processo de construção do modelo de avaliação.

A estrutura de Modelagem de Valor demonstrou ser capaz de atender a diferentes objetivos específicos e se mostrou adequada para capturar diversas perspectivas sobre as questões em análise, promovendo ao mesmo tempo o consenso entre os participantes. Além disso, alinhar a modelagem multicritério com uma gama mais ampla de valores e perspectivas dos participantes, permitiu o desenvolvimento de um modelo mais abrangente. A estrutura incentivou discussões que estimulam a criatividade e a reflexão sobre as diferentes atividades envolvidas, evitando preconceitos por parte dos especialistas, ampliando assim a base de conhecimento da pesquisa. Durante todo o processo de modelagem sociotécnica do Índice, observamos a presença tanto de pensamentos divergentes quanto de pensamentos convergentes. Diante disso, a concepção do método visou abranger de maneira mais abrangente e integrada as diversas dimensões relevantes para a promoção de uma Bioeconomia Circular Urbana, incluindo aspectos socioeconômicos, ecológicos e equidade, permitindo assim uma avaliação mais completa e informada para orientar políticas e estratégias com vistas a promover um desenvolvimento sustentável e resiliente.

Em cada rodada *Web-Delphi*, a mudança nos julgamentos divergentes para convergentes ocorreram principalmente da primeira para a segunda rodada, quando os participantes compartilharam informações sobre as escolhas de todos e à luz do qual alguns deles revisaram suas respostas iniciais. De acordo com o julgamento e argumentos que consideramos válidos, alguns indicadores foram excluídos como por exemplo, "consumo médio de água" e "ecopontos", enquanto outros foram incorporados como "desperdício alimentar" e "parcerias público-privadas". No estágio de conferência de decisão *Macbeth*, três indicadores "Desmatamento", "Áreas antropizadas em relação as áreas naturais" e "Padrão de biodegradabilidade e compostabilidade" foram abolidos de acordo os argumentos e a decisão em grupo dos especialistas. O uso dessa estrutura utilizando um formato iterativo e interativo teve dois efeitos positivos. Em primeiro lugar, permitiu alcançar mais cedo uma compreensão compartilhada abrangente das questões e um senso de propósito comum. Em segundo lugar, facilitou o comprometimento do grupo com os caminhos a seguir ao longo da dinâmica das diversas atividades do processo de construção, potencializando uma intervenção bem-sucedida. Além disso, foram extraídas lições da intervenção sobre como melhorar os processos analíticos de apoio à decisão amplamente participativos e focados no domínio da medição de desempenho sobre determinantes, resultados, áreas de preocupação, *clusters* e indicadores.

A utilização da de Modelagem de Valor colaborativa, demonstrou alguns efeitos positivos. Primeiramente, possibilitou a obtenção de uma compreensão abrangente e compartilhada das questões em análise, ao mesmo tempo em que estimulou o desenvolvimento de um senso de propósito comum. Em segundo lugar, facilitou o engajamento do grupo na definição dos caminhos a serem seguidos ao longo das diversas etapas do processo de construção, resultando em uma intervenção bem-sucedida. Além disso, foram extraídas lições valiosas da intervenção sobre como aprimorar os processos analíticos de apoio à decisão amplamente participativos e focados na medição de desempenho, abrangendo determinantes, resultados, áreas de preocupação, *clusters* e indicadores. Apesar das armadilhas associadas à inclusão de um grande número de indicadores, este estudo avança o conhecimento sobre o potencial de produzir uma base de dados multidimensional de indicadores comparáveis. Conhecer a situação local e a contribuição dos atores e a documentação disponível permite a mensuração dos resultados como ponto de partida para futuras revisões e aprimoramentos. Além disso, em sua maioria, esses indicadores já estão sendo utilizados, embora de forma dispersa em iniciativas locais. Portanto, é recomendável que os resultados preliminares sejam utilizados para facilitar a discussão e estabelecer mecanismos capazes de realizar esse tipo de mensuração e padronização.

O fornecimento de informações relevantes contribui para uma abordagem mais transparente e fundamentada na tomada de decisões, aumentando a confiança do público nas políticas implementadas. Investir em estratégias que garantam o acesso contínuo a informações confiáveis é um passo crucial para promover a governança efetiva e aprimorar a qualidade das políticas públicas adotadas. Os tomadores de decisão também devem buscar o envolvimento das partes interessadas, promovendo a participação de diferentes setores e níveis, para garantir uma abordagem inclusiva (Howdon et al., 2022). Consequentemente, os pontos de inflexão social podem ser analisados levando explicitamente em conta as propriedades de tais sistemas. Isso inclui diversas motivações, informações sobre clima futuro, aprendizado por meio da experiência, influência social e difusão de opiniões sobre riscos e práticas de adaptação e interações entre atores e partes interessadas. Nesse sentido, o planejamento urbano embasado em uma gama de características e padrões espaço-temporais demonstra potencial adaptativo e, portanto, resiliência, sendo crucial promover comparações mais abrangentes entre cidades e regiões e embasar discussões sobre definição de metas e limites, facilitando um diálogo comum.

Na análise de decisão multicritério, as categorias propostas desempenham papéis diversos e essenciais, com destaque para Políticas, estratégias e legislação (27,25%), que reflete a necessidade de um arcabouço legal sólido para orientar a transição sustentável. A Gestão dos resíduos (21,42%), que assume um papel crucial na mitigação de questões socioecológicas, seguida por Pesquisa, desenvolvimento e formação de redes (14,86%), impulsionando inovações e colaborações. As Infraestrutura e tecnologia (11,06%) são fundamentais para implementar práticas circulares, enquanto a Gestão dos recursos naturais (10,19%) promove a utilização eficiente dos recursos. Mudanças Climáticas e Pressão sobre os Ecossistemas de Suporte (6,58%) destacam a importância da adaptação às condições climáticas e da conservação da biodiversidade. Por fim, Desenvolvimento e Organização de Mercado (4,42%) e Produção (4,21%) representam a oferta de produtos sustentáveis e o estímulo à demanda, completando o quadro multifacetado que compõe a construção do Índice proposto. Estes valores se encontram em estrita consonância com as características socioeconômicas nacionais e espelham a realidade do Brasil, que se depara com uma miríade de barreiras e desafios inerentes à gestão de resíduos sólidos, ao acesso aos serviços de água potável e saneamento, bem como à busca incansável pela criação de valores equitativos. Uma das adversidades preponderantes repousa na carência de infraestrutura apropriada e financiamento adequado para os serviços de saneamento básico, gerando, como consequência, condições de vida e saúde extremamente debilitadas para um contingente significativo de brasileiros desprovidos de acesso à água potável, saneamento e condições higiênicas apropriadas. Somado a isso, a intrincada e fragmentada estrutura jurídica e institucional acarreta desafios consideráveis no que tange à coordenação e regulamentação. Acresce-se ainda a resistência e o antagonismo manifestados por determinados atores políticos e grupos de interesse, os quais podem perceber a implementação de políticas voltadas para a equidade social como uma ameaça aos seus interesses de poder, lucro ou preferências. Superar esses desafios assume um caráter fundamental para o desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular Urbana, a qual detém o potencial de proporcionar benefícios de ordem socioeconômica, ecológica e cultural.

9. CONCLUSÕES

A compreensão do desenvolvimento sustentável como um desafio intrincado ressalta a natureza política e subjetiva da maneira como questões e soluções são moldadas. Embora o conhecimento científico desempenhe um papel crucial, é importante reconhecer que qualquer iniciativa não é completamente neutra ou desvinculada dessa natureza. Apesar do crescente reconhecimento da interconexão entre as crises climáticas e a perda de biodiversidade, bem como da necessidade de abordagens adaptativas e multiescalar para compreender a complexidade das questões e suas possíveis soluções, grande parte da ciência que serve como base para políticas de resposta a questões relacionadas à sustentabilidade ainda permanece notavelmente centradas na inovação tecnológica. O desenvolvimento da Bioeconomia Circular tem sido marcado predominantemente pelo biocapitalismo, deixando pouco espaço para enfrentar desafios multidimensionais e entrelaçados, incluindo consumo excessivo, extrativismo e as desigualdades e injustiças socioecológicas (Ramcilovic-Suominen et al., 2022). As agendas e estratégias adotadas por organizações globais que promovem a narrativa, em sua maioria, têm reproduzido a produção desigual de conhecimento, fortalecendo, ao mesmo tempo, o paradigma de um conhecimento extrativista. Essa abordagem representa uma ameaça à perpetuação das desigualdades socioecológicas locais e regionais e ao agravamento dos impactos socioecológicos.

Ao considerar que as atividades econômicas são processos complexos e dinâmicos, que interagem de maneiras imprevisíveis e criam padrões que influenciam a evolução dos sistemas, preceitos econômicos básicos, como a lei da oferta e demanda, lei dos rendimentos decrescentes e a lei da vantagem comparativa tentam expressar esses padrões. Esses conceitos nos ajudam a compreender como os atores e sistemas econômicos respondem a mudanças nos incentivos, restrições, oportunidades e riscos. Entretanto, essas "leis" não são determinísticas, dependendo assim das condições de cada sistema econômico (Tyulin et al., 2023). Apesar da inovação tecnológica ter a capacidade desestabilizar mercados e setores existentes criando novos produtos ou serviços que desafiam as leis estabelecidas de oferta e demanda, acredito firmemente que as mudanças culturais podem alterar as preferências e valores dos consumidores e produtores, afetando suas decisões e comportamentos em direção a um futuro mais sustentável. Assim, os atores responsáveis pela implementação e desenvolvimento da Bioeconomia Circular Nacional devem ultrapassar a análise superficial de supostas estratégia promissoras à nível global como abordagens irrefutavelmente

sustentáveis, geradoras de empregos e mitigadoras das mudanças climáticas e se concentrem em uma abordagem que vá além das promessas retóricas.

Um pré-requisito básico para uma gestão pública eficiente é a capacidade dos tomadores de decisões e formuladores de políticas públicas em avaliar adequadamente a realidade, interpretar os desejos e necessidades da população e implementar medidas que correspondam às prioridades estabelecidas (Patterson et al., 2021). Além disso, é de responsabilidade dos governos aumentar a consciência da interdependência dos ecossistemas e do bem-estar humano, fazer avançar as ciências interdisciplinares referente aos serviços ecossistêmicos e aplicar esta ciência nas decisões para restaurar o capital natural e utilizá-lo de forma sustentável (Guerry et al., 2015; Sanderson, 2002). Logo, um ponto crítico na busca uma transição em direção a um futuro mais sustentável, diz respeito a percepção equivocada de que as mudanças em pequena escala à nível local não trazem benefícios tangíveis e podem até mesmo não serem vistas como bem-sucedidas. Abordar essa problemática requer uma colaboração transdisciplinar que lide com variáveis como tempo, escala, abrangência, direção e sistema. Além disso, o desenvolvimento de práticas locais requerem modelos sólidos para embasar a tomada de decisões, suas questões-chave necessitam ser abordadas por grupos de pesquisa multidisciplinares apoiados por fundos do setor público e privado. Esses elementos são essenciais para permitir que as sociedades prosperem por meio do reconhecimento de conquistas ao longo do caminho.

Historicamente, a mudança de paradigmas que se afaste do uso de recursos fósseis é visto como um componente chave de transição socioecológica mas ainda pouco efetivo na prática. Portanto, é essencial que o desenvolvimento de uma narrativa assim como a implementação de suas práticas proponha a criação de valores que respeite as bases sociais. Esta fundação inclui direitos essenciais, como o direito a segurança alimentar, acesso a água potável, saneamento básico e educação, além de operar em um espaço operacional seguro e justo onde o bem-estar humano, animal e planetário seja garantido. A transição para esse "espaço" exige mudanças na forma como valorizamos produtos e serviços e repensar nossa definição de prosperidade à medida que adotamos novas medidas de progresso socioeconômicos. Embora parte da narrativa proposta tenha como fundamento conceitos relacionados ao desenvolvimento tecnológico, como a implementação das biorrefinarias urbanas e a implementação de modelos de análise e transferência de dados, é importante ressaltar que a baixa tecnologia desempenha um papel significativo no desenvolvimento de

meios de subsistência alternativos. Esses meios não dependem da mercantilização e da extração, mas sim da suficiência e da regeneração. Os princípios bioecológicos e a utilização da baixa tecnologia contribuem para o surgimento de novas formas de organização social que se baseiam na solidariedade e na cooperação, em vez de hierarquia e competição. Nesse sentido, em vez de concentrarmos exclusivamente nas promessas tecnológicas, é essencial dedicarmos atenção ao desenvolvimento de práticas circulares à nível local.

Os princípios da descentralização e colocalização como elementos essenciais da reforma da governança de modo que os governos e as instituições locais podem oferecer informações valiosas à comunidade, percebendo as necessidades do ambiente adjacente, de serviços essenciais como fluxos de resíduos, demanda de nutrientes e desafios do ecossistema natural e cultural. A adoção de práticas de colocalização e descentralização pode proporcionar benefícios como a diminuição da pegada ecológica por meio da redução do consumo de energia e emissões decorrentes do transporte de recursos. Além disso, a criação de sinergias e benefícios mútuos entre os participantes pode gerar vantagens econômicas, reduzindo custos operacionais, além de diminuir os custos logísticos ou fornecer recursos alternativos. Tais práticas podem fomentar oportunidades de negócios ou fluxos de receita para fornecedores e usuários de recursos, permitindo que estes vendam ou comprem seus recursos excedentes ou recuperados. Mesmo considerando que a descentralização requer um alto grau de participação social para garantir a capacidade de resposta às necessidades locais, o próprio processo de descentralização pode ser vista tanto como um meio para e como um objetivo democrático a fim de aumentar as oportunidades de participação (Bergh, 2007).

O Índice de Desenvolvimento para a Bioeconomia Circular Urbana fornece uma primeira avaliação abrangente dos pontos de partida para os tomadores de decisão em relação às práticas o desenvolvimento socioeconômico e conservação do capital natural à nível local. Em contraste com os indicadores tradicionais e índices definidos de forma restrita que representam um compromisso político não específico o suficiente para enfrentar esses desafios, o índice proposto aborda todo o escopo de desafios que os governos locais enfrentam e que podem ser superados utilizando a narrativa proposta. Entretanto, antes que essa pesquisa possa efetivamente apoiar uma transição em direção a um desenvolvimento sustentável e proporcionar a criação de valores de maneira equitativa, há um caminho inegavelmente longo e complexo pela frente. E, na ausência de uma mudança institucional e

cultural mais ampla, a proposição do Índice Composto tem pouco ou nenhum poder transformador.

Considerando que este trabalho tem como objetivo comunicar e apresentar um conjunto de informações técnicas de forma acessível e compreensível, a fim de permitir que os gestores públicos compreendam a metodologia utilizada na criação do índice, bem como a concepção e aplicação dessa ferramenta. Os resultados são apresentados de maneira a destacar os principais desafios enfrentados pelos municípios brasileiros, possibilitando assim a avaliação do desempenho dos serviços e das políticas públicas implementadas pela administração municipal, além de atribuir maior responsabilidade aos governos locais. Esta ferramenta busca consolidar dados e estatísticas, e a metodologia identifica lacunas nos dados, incentivando os órgãos técnicos e os gestores públicos a preencher essas lacunas e a produzir e integrar novas bases de dados. Entretanto, é importante destacar que os valores propostos para o índice devem ser interpretados com cautela, pois se trata do desenvolvimento de um índice composto relacionado a uma narrativa em desenvolvimento. Muitos dos indicadores apesar de terem sido desenvolvidos a partir da opinião de especialistas, são proposições originais desenvolvidos ao longo da pesquisa e não possuem uma base de dados estabelecida. A baixa maturidade do índice e a falta de um estudo de caso a partir da coleta de dados primários, portanto, também se configura como uma limitação. Assim como em outros índices compostos, a atualização regular dos indicadores é crucial para garantir a relevância e a confiabilidade dos resultados. Embora a coleta de todos os indicadores propostos seja defendida para lidar com as lacunas de dados, é necessário considerar a viabilidade financeira e os recursos necessários para realizar essa coleta e atualização.

Com essa abordagem, os planejadores e formuladores de políticas podem criar um processo mais inclusivo, no qual diferentes perspectivas são consideradas para determinar quais caminhos potenciais levarão aos resultados desejáveis. Isso permite uma maior participação da comunidade na definição dos rumos a serem seguidos, garantindo que as decisões tomadas sejam mais alinhadas com as necessidades e aspirações locais. O fornecimento de informações relevantes contribui para uma abordagem mais transparente e fundamentada na tomada de decisões, aumentando a confiança do público nas políticas implementadas. Investir em estratégias que garantam o acesso contínuo a informações

confiáveis é um passo crucial para promover a governança efetiva e aprimorar a qualidade das políticas públicas adotadas.

9.1 Limitações de pesquisa

A elaboração de um Índice Composto para a Bioeconomia Circular Urbana brasileira representou um desafio significativo, uma vez que exigiu a obtenção de dados confiáveis e consistentes de diversas fontes, além da adoção de uma metodologia clara e coesa para sua agregação. Um dos principais pontos subjacentes é que esse exponencial aumento de informações disponíveis esconde outra questão, a necessidade de sua interpretação e consolidação. O desenvolvimento de uma Bioeconomia Circular ainda é uma narrativa em construção em que nem todos os governos locais estão plenamente cientes de sua importância ou dispostos a apoiar sua implementação. Alguns podem não possuir a vontade política, os recursos financeiros e/ou a capacidade técnica necessária para coletar e relatar dados sobre práticas necessárias, bem como para adotar políticas públicas capazes de criar valores além dos econômicos para uma gama limitada de atores chave. Além disso, pode haver conflitos de interesse ou falta de coordenação entre diferentes níveis de governo, ou entre diferentes setores e partes interessadas dentro da mesma cidade ou região.

A qualidade de um Índice Composto, bem como a solidez das mensagens que transmite, dependem não só da metodologia utilizada na sua construção, mas sobretudo da qualidade do quadro e dos dados utilizados (OECD, 2008). Embora os indicadores estabelecidos para o Índice Composto de Desenvolvimento da Bioeconomia Circular Urbana tenham a vantagem de serem simples e capazes de fornecer uma visão geral do desempenho do sistema, algumas barreiras se demonstraram intrínsecas ao processo de construção do índice. A ausência de alguns indicadores específicos devido a várias razões como a ausência de coleta de dados, erros de medição ou falta de resposta, bem como a variação nos níveis de detalhamento ou agregação de dados para diferentes municípios, devido a definições, classificações ou normas diversas têm se mostrado como um desafio significativo. Esses fatores inviabilizaram a realização de um estudo empírico relacionado ao índice proposto. Além disso, as lacunas ou discrepâncias na abrangência e na profundidade dos dados dificultaram a captura da diversidade e complexidade da implementação e desenvolvimento da narrativa. Um exemplo é a questão dos biorresíduos, que segundo alguns dados de estudos mais antigos representavam aproximadamente metade dos resíduos urbanos gerados. No entanto, a ausência de um indicador específico, iniciativas por parte do setor público e

privado para quantificar e atualizar a disponibilidade e quantidade de biorresíduos urbanos em nível local tem criado obstáculos para o desenvolvimento de práticas que visam reduzir seus impactos ecológicos e ampliar os benefícios socioeconômicos associados à sua gestão e recuperação.

Quanto as limitações relacionados ao método, segundo Powell (2003), o Delphi é amplamente reconhecido pela sua eficiência na promoção da comunicação e busca de consenso entre um grupo participantes. No entanto, essa abordagem apresenta uma limitação relacionada à falta de clareza sobre como definir o consenso e interpretar os resultados. Durante o desenvolvimento da pesquisa, a descrição dos indicadores durante o processo de seleção, foi mantida breve e direta no intuito dos participantes não perderem o foco. No entanto, essa abordagem contrasta com a complexidade inerente ao escopo da pesquisa. Como resultado, algumas questões se tornaram ambíguas e houve interpretações equivocadas em relação aos diferentes atributos para a construção dos valores atribuídos. Dado que não havia um facilitador presente para esclarecer essas interpretações errôneas, foi necessário um cuidadoso desenho de protocolos e adaptações constantes ao longo do processo iterativo.

Para lidar com algumas dessas limitações, optamos por utilizar também a conferência de decisão multicritério por meio do método *Macbeth* envolvendo o julgamento de especialistas a fim de aprimorar a validade da pesquisa. No entanto, é importante reconhecer que a seleção do painel de especialistas é uma prática subjetiva, e a escolha de diferentes especialistas provavelmente resultaria em decisões e valores divergentes dos aqui apresentando. Além disso, a própria natureza dos julgamentos na matriz de comparação também é um processo subjetivo, podendo variar dependendo dos decisores envolvidos. Adicionalmente, o processo de elicitação enfrentou alguns obstáculos devido ao considerável número de julgamentos necessários, o que resultou em reuniões extensas. A obtenção dos valores ao longo de cinco reuniões precisou ser adaptada às disponibilidades individuais dos participantes. No entanto, com exceção da primeira reunião, não foi possível contar com a participação simultânea de todos os decisores, tornando necessária a implementação de mecanismos para que os resultados fossem acordados e validados de forma unanime.

Vale ressaltar que a hipótese de independência de valor foi um pré-requisito assumido desde o início do processo, a fim de possibilitar a construção de modelos aditivos simples. O caminho metodológico escolhido para atender a essa hipótese envolveu a resolução das dependências de valor entre os principais indicadores durante a fase de estruturação,

permitindo assim que um modelo de julgamento aditivo simples fosse válido. No entanto, em cenários mais complexos nos quais existem fortes dependências estruturais entre indicadores e outros fenômenos que afetam a construção de um índice composto, podem ser necessários procedimentos de agregação mais complexos. É importante observar que a escolha por um caminho metodológico menos simples poderia comprometer a adesão de um grande número de participantes interessados em estar envolvidos na construção do Índice Composto. Em certo sentido, o aspecto social prevaleceu sobre o técnico na escolha do caminho metodológico, o que está alinhado com o objetivo final do processo de consulta de "construir uma relação de ajuda", que exige a análise das condições necessárias para que a assistência seja prestada com sucesso.

REFERÊNCIAS

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* 29:28, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-19718-6>
- Abrelpe. (2022). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. Abrelpe
- Abson, D. J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., von Wehrden, H., Abernethy, P., Ives, C. D., Jager, N. W., & Lang, D. J. (2017). Leverage points for sustainability transformation. *Ambio*, 46(1), 30–39. <https://doi.org/10.1007/S13280-016-0800-Y/TABLES/2>
- Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 77–86. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2004.12.005>
- Afrin, S., Chowdhury, F. J., & Rahman, M. M. (2021). COVID-19 Pandemic: Rethinking Strategies for Resilient Urban Design, Perceptions, and Planning. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3, 32. <https://doi.org/10.3389/FRSC.2021.668263/BIBTEX>
- Agarwal, A. (2014). *Why forms in Google Docs are perfect for creating online surveys*.
- Agudo, F. L., Bezerra, B. S., Paes, L. A. B., & Gobbo Júnior, J. A. (2022). Proposal of an assessment tool to diagnose industrial symbiosis readiness. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 916–929. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.01.013>
- Aguiar, M. F., & Jugend, D. (2022). Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132732. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132732>
- Alfaia, R. G. de S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Management and Research*, 35(12), 1195–1209. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>

- Allain, S., Ruault, J.-F., Moraine, M., & Madelrieux, S. (2022). The ‘bioeconomics vs bioeconomy’ debate: Beyond criticism, advancing research fronts. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.11.004>
- ALwaer, H., & Clements-Croome, D. J. (2010). Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, 45(4), 799–807. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2009.08.019>
- Aminoff, A., & Kettunen, O. (2016). Sustainable supply chain management in a circular economy—towards supply circles. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 52, 61–72. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_6
- Anderson, R. C. (2016). *Berkshire Encyclopedia of Sustainability*. 1. <https://doi.org/10.1093/acref/9780190622664.001.0001>
- Andersson, E., Haase, D., Anderson, P., Cortinovis, C., Goodness, J., Kendal, D., Lausch, A., McPhearson, T., Sikorska, D., & Wellmann, T. (2021). What are the traits of a social-ecological system: towards a framework in support of urban sustainability. *Npj Urban Sustainability* 2021 1:1, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s42949-020-00008-4>
- Angouria-Tsorochidou, E., Teigiserova, D. A., & Thomsen, M. (2021). Limits to circular bioeconomy in the transition towards decentralized biowaste management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105207>
- Angouria-Tsorochidou, E., Teigiserova, D. A., & Thomsen, M. (2022). Environmental and economic assessment of decentralized bioenergy and biorefinery networks treating urban biowaste. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105898>
- Angouria-Tsorochidou, E., & Thomsen, M. (2021). Modelling the quality of organic fertilizers from anaerobic digestion e Comparison of two collection systems. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127081>
- Antonini, E., Boeri, A., & Giglio, F. (2020). Conclusions: Rethinking Low-Tech Strategies. *Innovation, Technology and Knowledge Management*, 173–179. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-55969-4/COVER>
- Arantes, P. F. (2022). Brazilian Universities under AttackFrom the Biopolitical Pact to the Necropopulist Moment. *Critical Times*, 5(1), 97–108. <https://doi.org/10.1215/26410478-9536500>
- Ashokkumar, V., Flora, G., Venkatkarthick, R., SenthilKannan, K., Kuppan, C., Mary Stephy, G., Kamyab, H., Chen, W. H., Thomas, J., & Ngamcharussrivichai, C. (2022). Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective. *Fuel*, 324, 124313. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.124313>
- Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., & Caiado, R. G. G. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A

- case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1377–1386. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.162>
- Backhouse, M., Lehmann, R., Lorenzen, K., Puder, J., Rodríguez, F., & Tittor, A. (2021). Contextualizing the Bioeconomy in an Unequal World: Biomass Sourcing and Global Socio-Ecological Inequalities. *Bioeconomy and Global Inequalities*, 3–22. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68944-5_1
- Bai, Y., Wong, C. P., Jiang, B., Hughes, A. C., Wang, M., & Wang, Q. (2018). Developing China's Ecological Redline Policy using ecosystem services assessments for land use planning. *Nature Communications* 2018 9:1, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05306-1>
- Bakan, B., Bernet, N., Bouchez, T., Boutrou, R., Choubert, J. M., Dabert, P., Duquennoi, C., Ferraro, V., García-Bernet, D., Gillot, S., Mery, J., Rémond, C., Steyer, J. P., Trably, E., & Tremier, A. (2022). Circular Economy Applied to Organic Residues and Wastewater: Research Challenges. *Waste and Biomass Valorization*, 13(2), 1267–1276. <https://doi.org/10.1007/S12649-021-01549-0/FIGURES/2>
- Bali Swain, R., & Sweet, S. (2021). *Sustainable Consumption and Production, Volume II*. Springer.
- Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, K. M., Chaplin-Kramer, R., Halpern, B. S., Honey-Rosés, J., Kim, C.-K., Cramer, W., José Martínez-Harms, M., Mooney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, S., Reyers, B., ... Professor, A. (2017). Ecosystem Services. *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*, 39–78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27288-7_3
- Bana e Costa, C. A. (1992). *Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Decision*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Bana e Costa, C. A., Corrêa, É. C., De Corte, J. M., & Vansnick, J. C. (2002). Facilitating bid evaluation in public call for tenders: a socio-technical approach. *Omega*, 30(3), 227–242. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(02\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(02)00029-4)
- Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., & Vansnick, J. C. (2003). MACBETH (LSEOR 03.56). *The London School of Economics and Political Science*.
- Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., & Vansnick, J. C. (2016). On the mathematical foundations of MACBETH. *International Series in Operations Research and Management Science*, 233, 421–463. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_11/COVER
- Bana e Costa, C. A., & Pirlot, M. (1997). Thoughts on the Future of the Multicriteria Field: Basic Convictions and Outline for a General Methodology. *Multicriteria Analysis*, 562–568. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60667-0_53
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J. C. (1994). MACBETH — An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4), 489–500. [https://doi.org/10.1016/0969-6016\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0969-6016(94)90010-8)

- Bana e Costa, C., & Cfansnick, J. C. (1995). Uma nova abordagem ao problema de construção de uma função de valor cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*, 15, 15–35.
- Barbier, E. B. (2019). The concept of natural capital. *Oxford Review of Economic Policy*, 35(1), 14–36. <https://doi.org/10.1093/OXREP/GRY028>
- Barry, A., Born, G., & Wieszkalnys, G. (2008). Logics of interdisciplinarity. <https://doi.org/10.1080/03085140701760841>, 37(1), 20–49. <https://doi.org/10.1080/03085140701760841>
- Bartke, T., & Schneider, R. (2020). You are what you eat – How nutrition and metabolism shape the genome through epigenetics. *Molecular Metabolism*, 38, 100987. <https://doi.org/10.1016/J.MOLMET.2020.100987>
- Bastos Lima, M. G. (2021). *Politics of Bioeconomy and Sustainability*. Springer.
- Bastos Lima, M. G. (2022). Just transition towards a bioeconomy: Four dimensions in Brazil, India and Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 136, 102684. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2021.102684>
- Bateman, I. J., & Mace, G. M. (2020). The natural capital framework for sustainably efficient and equitable decision making. *Nature Sustainability* 2020 3:10, 3(10), 776–783. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0552-3>
- Battista, F., Frison, N., Pavan, P., Cavinato, C., Gottardo, M., Fatone, F., Eusebi, A. L., Majone, M., Zeppilli, M., Valentino, F., Tommasi, T., & Bolzonella, D. (2020). Food wastes and sewage sludge as feedstock for an urban biorefinery producing biofuels and added-value bioproducts. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 95(2), 328–338. <https://doi.org/10.1002/jctb.6096>
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT press.
- Becker, J. (2004). Making sustainable development evaluations work. *Sustainable Development*, 12(4), 200–211. <https://doi.org/10.1002/SD.236>
- Bello y Villarino, J. M. (2021). Measuring Corruption: A Critical Analysis of the Existing Datasets and Their Suitability for Diachronic Transnational Research. *Social Indicators Research*, 157(2), 709–747. <https://doi.org/10.1007/S11205-021-02657-Z/TABLES/1>
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry : innovation inspired by nature*. Harper Collins.
- Bergh, S. I. (2007). Democratic decentralisation and local participation: a review of recent research. <https://doi.org/10.1080/0961452042000284012>, 14(6), 780–790. <https://doi.org/10.1080/0961452042000284012>
- Bernstein, J. (2004). Social assessment and public participation in municipal solid waste management. *World Bank Working Paper*, 463617–1202332338898.
- Berry, B. J. L., & Kasarda, J. D. (1977). *Contemporary urban ecology* (Vol. 240). Macmillan New York.

- Bezama, A., Ingrao, C., O’Keeffe, S., & Thrän, D. (2019). Resources, collaborators, and neighbors: The three-pronged challenge in the implementation of bioeconomy regions. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24), 7235. <https://doi.org/10.3390/su11247235>
- Bezama, A., Mittelstädt, N., & Thrän, D. (2021). A Systematic Approach for Assessing and Managing the Urban Bioeconomy. *Bio#Futures*, 393–410. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64969-2_18/COVER
- Blomsma, F. (2018). Collective ‘action recipes’ in a circular economy – On waste and resource management frameworks and their role in collective change. *Journal of Cleaner Production*, 199, 969–982. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.145>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bloom, D. E., Canning, D., & Fink, G. (2008). Urbanization and the wealth of nations. *Science*, 319(5864), 772–775. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1153057>
- Bobulescu, R. (2015). From Lotka’s biophysics to Georgescu-Roegen’s bioeconomics. *Ecological Economics*, 120, 194–202. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2015.10.016>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Bocken, N. M. P., Olivetti, E. A., Cullen, J. M., Potting, J., & Lifset, R. (2017). Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 476–482. <https://doi.org/10.1111/jiec.12606>
- Bodin, Alexander, S. M., Baggio, J., Barnes, M. L., Berardo, R., Cumming, G. S., Dee, L. E., Fischer, A. P., Fischer, M., Mancilla Garcia, M., Guerrero, A. M., Hileman, J., Ingold, K., Matous, P., Morrison, T. H., Nohrstedt, D., Pittman, J., Robins, G., & Sayles, J. S. (2019). Improving network approaches to the study of complex social–ecological interdependencies. *Nature Sustainability* 2019 2:7, 2(7), 551–559. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0308-0>
- Bodin, Ö. (2017). Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems. *Science*, 357(6352). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAN1114/ASSET/BEE4C557-1FC8-40B4-8F4B-AB67C21A56E1/ASSETS/GRAPHIC/357_AAN1114_FA.JPEG
- Boland, A., Cherry, G., & Dickson, R. (2017). *Doing a systematic review: A student’s guide*. <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Zpc3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=KhI97DKLz6&sig=FDhhuV9SifPTdUmRFQc-LsLaPHk>
- Boldt, C., & Thrän, D. (2023). How to implement the urban bioeconomy: insights from Leipzig’s current policy mix for transitioning towards a bio-principled city. *Urban Transformations* 2023 5:1, 5(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/S42854-023-00052-0>

- Booyesen, F. (2002). An overview and evaluation of composite indices of development. *Social Indicators Research*, 59(2), 115–151. <https://doi.org/10.1023/A:1016275505152/METRICS>
- Botequilha-Leitão, A., & Díaz-Varela, E. R. (2020). Performance Based Planning of complex urban social-ecological systems: The quest for sustainability through the promotion of resilience. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102089. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102089>
- Boutsinas, B., & Papastergiou, T. (2008). On clustering tree structured data with categorical nature. *Pattern Recognition*, 41(12), 3613–3623. <https://doi.org/10.1016/J.PATCOG.2008.05.023>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633. <https://doi.org/10.1111/JWAS.12714>
- Brasil. (2010). Lei nº. 12.305 de 2 de agosto de 2010. *Diário Oficial Da União*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Britten, N., Campbell, R., Pope, C., Donovan, J., Morgan, M., & Pill, R. (2002). Using meta ethnography to synthesise qualitative research: a worked example. *Journal of Health Services Research & Policy*, 7(4), 209–215. <https://doi.org/10.1258/135581902320432732>
- Broman, G. I., & Robèrt, K. H. (2017). A framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 140, 17–31. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.10.121>
- Broome, M. (2000). Integrative literature reviews for the development of concepts. *Concept Development in Nursing: Foundations, Techniques and Applications*, 231, 250.
- Bröring, S., Laibach, N., & Wustmans, M. (2020). Innovation types in the bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121939>
- Bruckner, B., Hubacek, K., Shan, Y., Zhong, H., & Feng, K. (2022). Impacts of poverty alleviation on national and global carbon emissions. *Nature Sustainability*, 5(4), 311–320.
- Buheji, M., da Costa Cunha, K., Beka, G., Mavrić, B., Leandro do Carmo de Souza, Y., Souza da Costa Silva, S., Hanafi, M., & Chetia Yein, T. (2020). The Extent of COVID-19 Pandemic Socio-Economic Impact on Global Poverty. A Global Integrative Multidisciplinary Review. *American Journal of Economics*, 10(4), 213–224. <https://doi.org/10.5923/J.ECONOMICS.20201004.02>
- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L., & Ali, M. D. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>

- Bui, T. D., & Tseng, M. L. (2022). Understanding the barriers to sustainable solid waste management in society 5.0 under uncertainties: a novelty of social and technical perspectives on performance driving. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(11), 16265–16293. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-16962-0/FIGURES/10>
- Cadotte, M. W., Dinnage, R., & Tilman, D. (2012). Phylogenetic diversity promotes ecosystem stability. *Ecology*, 93(sp8), S223–S233. <https://doi.org/10.1890/11-0426.1>
- Calderón Márquez, A. J., & Rutkowski, E. W. (2020). Waste management drivers towards a circular economy in the global south – The Colombian case. *Waste Management*, 110, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.016>
- Calicioglu, Ö., & Bogdanski, A. (2021). Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy? *New Biotechnology*, 61, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.010>
- Callegari, A., Hlavinec, P., & Capodaglio, A. G. (2018). Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge. *Revista Ambiente & Água*, 13(2), e2128. <https://doi.org/10.4136/AMBI-AGUA.2128>
- Calzolari, T., Genovese, A., & Brint, A. (2022). Circular Economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 13, 100160. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2021.100160>
- Campbell, S. (1996). Green Cities, Growing Cities, Just Cities?: Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. *Journal of the American Planning Association*, 62(3), 296–312. <https://doi.org/10.1080/01944369608975696>
- Campuzano, R., & González-Martínez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3–12. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.05.016>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765–781. <https://doi.org/10.1007/S10021-001-0045-9/METRICS>
- Carrera-Rivera, A., Ochoa, W., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2022). How-to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research. *MethodsX*, 9, 101895. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2022.101895>
- Carrillo, I. (2020). Racialized Organizations and Color-Blind Racial Ideology in Brazil. <https://doi.org/10.1177/2332649220943223>, 7(1), 56–70. <https://doi.org/10.1177/2332649220943223>
- Carus, M., & Dammer, L. (2018). The Circular Bioeconomy - Concepts, Opportunities, and Limitations. *Industrial Biotechnology*, 14(2), 83–91. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>
- Carvalho, M. M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting*

- and Social Change, 80(7), 1418–1437.
<https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2012.11.008>
- Cavalcanti, A., Teixeira, A., & Pontes, K. (2020). Evaluation of the Efficiency of Basic Sanitation Integrated Management in Brazilian Municipalities. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 9244, 17(24), 9244. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17249244>
- Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2014). *Thermodynamics: an engineering approach* (Vol. 8). McGraw-hill New York.
- Cerna, L. (2013). The nature of policy change and implementation: A review of different theoretical approaches. *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) Report*, 492–502.
- Cetrulo, T. B., Marques, R. C., Cetrulo, N. M., Pinto, F. S., Moreira, R. M., Mendizábal-Cortés, A. D., & Malheiros, T. F. (2018). Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 205, 179–187. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.09.094>
- Chancel, L. (2022). Global carbon inequality over 1990–2019. *Nature Sustainability*, 5(11), 931–938.
- Chang, M. E., Zhao, Z. Q., Chang, H. T., & Shu, B. (2021). Urban green infrastructure health assessment, based on landsat 8 remote sensing and entropy landscape metrics. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1948357>, 54(1), 417–430. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1948357>
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R. D., Wong, J. W. C., & Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126398. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126398>
- Chee, Y. E. (2004). An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation*, 120(4), 549–565. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2004.03.028>
- Cherol, C. C. de S., Ferreira, A. A., Lignani, J. de B., & Salles-Costa, R. (2023). Regional and social inequalities in food insecurity in Brazil, 2013-2018. *Cadernos de Saúde Pública*, 38(12), e00083822. <https://doi.org/10.1590/0102-311XEN083822>
- Chesbrough, H. (2016). Managing Open Innovation. <http://dx.doi.org/10.1080/08956308.2004.11671604>, 47(1), 23–26. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671604>
- Chiappetta Jabbour, C. J., Seuring, S., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jugend, D., De Camargo Fiorini, P., Latan, H., & Izeppi, W. C. (2020). Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. *Journal of Environmental Management*, 264, 110416. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110416>
- Chodkowska-Miszczuk, J., Martinát, S., & van der Horst, D. (2021). Changes in feedstocks of rural anaerobic digestion plants: External drivers towards a circular bioeconomy.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111344. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111344>
- Chu, E. W., & Karr, J. R. (2017). Environmental Impact: Concept, Consequences, Measurement. *Reference Module in Life Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02380-3>
- Clark, W. W. (2019). Conclusion: The Global Green Paradigm Shift. *Climate Preservation in Urban Communities Case Studies*, 439–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815920-0.00011-3>
- Clayton, M. J. (1997). Delphi: a technique to harness expert opinion for critical decision-making tasks in education. *Educational Psychology*, 17(4), 373–386. <https://doi.org/10.1080/0144341970170401>
- Clibbens, N., Walters, S., & Baird, W. (2012). Delphi research: issues raised by a pilot study. *Nurse Researcher*, 19(2), 37–43. <https://doi.org/10.7748/CNP.V1.I7.PG21>
- 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*, 5(1), 146–166. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2010.10.002>
- Cobo, M. J., Lõpez-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609–1630. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Coelho, S. T., Garcilasso, V. P., Santos, M. M. dos, Escobar, J. F., Perecin, D., & Souza, D. B. de. (2020). Atlas de Bioenergia do estado de São Paulo. *São Paulo, SP, Brasil: Instituto*.
- Cohen, T. R., Dorison, C. A., Schroeder, J., Yeomans, M., Zhao, X., Caruso, H. M., Minson, J. A., & Risen, J. (2020). The Art and Science of Disagreeing: How to Create More Effective Conversations About Opposing Views. *Academy of Management Proceedings*, 2020(1), 15153. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2020.15153SYMPOSIUM>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *IUCN: Gland, Switzerland*, 97, 2016–2036.
- Collier, M. J., Frantzeskaki, N., Connop, S., Dick, G., Dumitru, A., Dziubała, A., Fletcher, I., Georgiou, P., Hölscher, K., Kooijman, E., Lodder, M., Madajczyk, N., McQuaid, S., Nash, C., Osipiuk, A., Quartier, M., Reil, A., Rhodes, M.-L., Rizzi, D., ... Xidou, D. (2023). An integrated process for planning, delivery, and stewardship of urban nature-based solutions: The Connecting Nature Framework. *Nature-Based Solutions*, 3, 100060. <https://doi.org/10.1016/J.NBSJ.2023.100060>
- Compagnoni, M. (2022). Is Extended Producer Responsibility living up to expectations? A systematic literature review focusing on electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 133101.

- Cong, R.-G., & Thomsen, M. (2021). Review of ecosystem services in a bio-based circular economy and governance mechanisms. *Ecosystem Services*, 50, 101298. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101298>
- Conke, L. S. (2018). Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.03.007>
- Conteratto, C., Artuzo, F. D., Benedetti Santos, O. I., & Talamini, E. (2021). Biorefinery: A comprehensive concept for the sociotechnical transition toward bioeconomy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111527. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111527>
- Cook, N. R., & Ware, J. H. (2003). Design and Analysis Methods for Longitudinal Research. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev.Pu.04.050183.000245*, 4, 1–23. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PU.04.050183.000245>
- Corbin, J., & Strauss, A. (2014). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage publications.
- Corning, P. A. (1995). Synergy and self-organization in the evolution of complex systems. *Systems Research*, 12(2), 89–121. <https://doi.org/10.1002/SRES.3850120204>
- Cosenza, J. P., De Andrade, E. M., & De Assunção, G. M. (2020). A circular economy as an alternative for Brazil's sustainable growth: Analysis of the national solid waste policy. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 9(1), 2020. <https://doi.org/10.5585/GEAS.V9I1.16147>
- Costa, C., Freitas, Â., Stefanik, I., Krafft, T., Pilot, E., Morrison, J., & Santana, P. (2019). Evaluation of data availability on population health indicators at the regional level across the European Union. *Population Health Metrics*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12963-019-0188-6/FIGURES/4>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Cottrell, R. S., Nash, K. L., Halpern, B. S., Remenyi, T. A., Corney, S. P., Fleming, A., Fulton, E. A., Hornborg, S., John, A., Watson, R. A., & Blanchard, J. L. (2019). Food production shocks across land and sea. *Nature Sustainability* 2019 2:2, 2(2), 130–137. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0210-1>
- Council of the European Union. (1975). *Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31975L0442#:~:text=COUNCIL%20DIRECTIVE%20of%2015%20July%201975%20on%20waste,to%20the%20Opinion%20of%20the%20European%20Parliament%20%281%29%3B>
- Crenna, E., Sozzo, S., & Sala, S. (2018). Natural biotic resources in LCA: Towards an impact assessment model for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3669–3684. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.208>

- da Silva, C., & Bolson, C. (2018). Public Policy for Solid Waste and the Organization of Waste Pickers: Potentials and Limitations to Promote Social Inclusion in Brazil. *Recycling*, 3(3), 40. <https://doi.org/10.3390/recycling3030040>
- Dal'Magro, G. P., & Talamini, E. (2019). Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. *Waste Management & Research*, 37(7), 706–716.
- D'Amato, D., Bartkowski, B., & Droste, N. (2020). Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research. *Ambio*, 49(12), 1878–1896. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01374-0>
- D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Lhtinen, K., Korhonen, J., Leskinen, P., Matthies, B. D., & Toppinen, A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 168, 716–734. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.053>
- D'Amato, D., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. *Ecological Economics*, 188, 107143. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2021.107143>
- D'Amato, D., Veijonaho, S., & Toppinen, A. (2020). Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest Policy and Economics*, 110, 101848. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.12.004>
- Davis, J., Mengersen, K., Bennett, S., & Mazerolle, L. (2014). Viewing systematic reviews and meta-analysis in social research through different lenses. *SpringerPlus*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-511/FIGURES/2>
- De Brucker, K., MacHaris, C., & Verbeke, A. (2013). Multi-criteria analysis and the resolution of sustainable development dilemmas: A stakeholder management approach. *European Journal of Operational Research*, 224(1), 122–131. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2012.02.021>
- De Felice, F., & Petrillo, A. (2021). An interdisciplinary framework to define strategies for digitalization and sustainability: Proposal of a 'digidigital' model. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 3(1), 75–84. <https://doi.org/10.1049/cim2.12013>
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P., & van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2012.07.005>
- Deus, R. M., Battistelle, R. A. G., & Silva, G. H. R. (2017). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/S10098-016-1205-0/FIGURES/4>
- Deus, R. M., Esguero, F. J., Battistelle, R. A. G., & Jugend, D. (2022). Drivers and barriers to successful solid waste management: assessing through an aggregated indicator. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(4), 1476–1484. <https://doi.org/10.1007/S10163-022-01396-8/TABLES/3>

- Devaney, L., & Henchion, M. (2018). Who is a Delphi ‘expert’? Reflections on a bioeconomy expert selection procedure from Ireland. *Futures*, 99, 45–55. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2018.03.017>
- Diaz Lopez, F. J., Bastein, T., & Tukker, A. (2019). Business Model Innovation for Resource-efficiency, Circularity and Cleaner Production: What 143 Cases Tell Us. *Ecological Economics*, 155, 20–35. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2018.03.009>
- Dietz, T., Börner, J., Förster, J. J., & von Braun, J. (2018). Governance of the Bioeconomy: A Global Comparative Study of National Bioeconomy Strategies. *Sustainability* 2018, Vol. 10, Page 3190, 10(9), 3190. <https://doi.org/10.3390/SU10093190>
- Dolley, J., Marshall, F., Butcher, B., Reffin, J., Robinson, J. A., Eray, B., & Quadrianto, N. (2020). Analysing trade-offs and synergies between SDGs for urban development, food security and poverty alleviation in rapidly changing peri-urban areas: a tool to support inclusive urban planning. *Sustainability Science*, 15(6), 1601–1619. <https://doi.org/10.1007/S11625-020-00802-0/FIGURES/9>
- Donihue, C. M., & Lambert, M. R. (2015). Adaptive evolution in urban ecosystems. *Ambio*, 44(3), 194–203. <https://doi.org/10.1007/S13280-014-0547-2/FIGURES/2>
- Donner, M., & de Vries, H. (2021). How to innovate business models for a circular bio-economy? *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 1932–1947. <https://doi.org/10.1002/BSE.2725>
- Donner, M., Gohier, R., & de Vries, H. (2020). A new circular business model typology for creating value from agro-waste. *Science of the Total Environment*, 716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137065>
- 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*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.04.070>
- Duan, Y., Pandey, A., Zhang, Z., Awasthi, M. K., Bhatia, S. K., & Taherzadeh, M. J. (2020). Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China. *Industrial Crops and Products*, 153, 112568. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112568>
- Dumitru, A., & Wendling, L. (2021). *Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners*. European Commission EC.
- Dupont-Inglis, J., & Borg, A. (2018). Destination bioeconomy – The path towards a smarter, more sustainable future. *New Biotechnology*, 40, 140–143. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.010>
- Durand-Dastès, F. (1971). La pollution atmosphérique et le climat. *Total Information*, 47, 12–19.
- Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2012.04.038>

- Ehrlich, P. R., Kareiva, P. M., & Daily, G. C. (2012). Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature*, 486(7401), 68–73.
- Elkington, J. (2013). Enter the triple bottom line. In *The Triple Bottom Line: Does It All Add Up* (pp. 1–16). Routledge.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Delivering the Circular Economy: a toolkit for policy makers*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/delivering-the-circular-economy-a-toolkit-for-policymakers>
- Elliott, J., Lawrence, R., Minx, J. C., Oladapo, O. T., Ravaud, P., Tendal Jeppesen, B., Thomas, J., Turner, T., Vandvik, P. O., & Grimshaw, J. M. (2021). Decision makers need constantly updated evidence synthesis. *Nature* 2021 600:7889, 600(7889), 383–385. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03690-1>
- Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Olsson, P., Gaffney, O., Takeuchi, K., & Folke, C. (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability* 2019 2:4, 2(4), 267–273. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0250-1>
- Elmqvist, T., Andersson, E., McPhearson, T., Bai, X., Bettencourt, L., Brondizio, E., Colding, J., Daily, G., Folke, C., Grimm, N., Haase, D., Ospina, D., Parnell, S., Polasky, S., Seto, K. C., & Van Der Leeuw, S. (2021). Urbanization in and for the Anthropocene. *Npj Urban Sustainability* 2021 1:1, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00018-w>
- Engle, N. L., de Bremond, A., Malone, E. L., & Moss, R. H. (2014). Towards a resilience indicator framework for making climate-change adaptation decisions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1295–1312. <https://doi.org/10.1007/S11027-013-9475-X/FIGURES/1>
- Ensslin, L., Neto, G. M., & Noronha, S. M. (2001). *Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Insular.
- Ensslin, S. R., Ensslin, L., Back, F., & Lacerda, R. T. de O. (2013). Improved decision aiding in human resource management: A case using constructivist multi-criteria decision aiding. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62(7), 735–757. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2012-0039/FULL/PDF>
- Estrada, E. (2012). *The structure of complex networks: theory and applications*. Oxford University Press.
- European Commission. (2015). *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy* COM/2015/0614 final. European Commission. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>
- European Parliament and of the Council. (2008). *Directive 2008/98/EC*.
- Fava, F., Gardossi, L., Brigidi, P., Morone, P., Carosi, D. A. R., & Lenzi, A. (2021). The bioeconomy in Italy and the new national strategy for a more competitive and sustainable country. *New Biotechnology*, 61, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.11.009>

- Fei, F., Shen, N., De Clercq, D., & Luo, J. (2021). Redesign of urban biowaste sustainable management system based on industrial ecology concept: A case study in China. *Science of The Total Environment*, 793, 148425. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148425>
- Feitosa, F. E. B., & Costa, A. L. (2021). Application of a multicriteria methodology for evaluation of energy alternatives for hydrogen production for the automotive sector – Case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(40), 20799–20814. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.03.209>
- Fernandes, S. da C., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C., & Rozenfeld, H. (2020). Towards product-service system oriented to circular economy: A systematic review of value proposition design approaches. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120507. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120507>
- Ferri, G. L., Diniz Chaves, G. de L., & Ribeiro, G. M. (2015). Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. *Waste Management*, 40, 173–191. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.036>
- Fidelis, R., Guerreiro, E. D. R., Horst, D. J., Ramos, G. M., de Oliveira, B. R., & de Andrade Junior, P. P. (2023). Municipal solid waste management with recyclable potential in developing countries: Current scenario and future perspectives. <https://doi.org/10.1177/0734242X231160084>
- Fistola, R., Gargiulo, C., & La Rocca, R. A. (2020). Rethinking vulnerability in city-systems: A methodological proposal to assess “urban entropy.” *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 106464. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2020.106464>
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., Galaz, V., Westley, F., Lamont, M., Scheffer, M., Österblom, H., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Seto, K. C., Weber, E. U., Crona, B. I., Daily, G. C., Dasgupta, P., Gaffney, O., Gordon, L. J., Hoff, H., Levin, S. A., ... Walker, B. H. (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio*, 50(4), 834–869. <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01544-8/FIGURES/12>
- Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M., Hsing, P. Y., Danielsen, F., Hitchcock, C. B., Hulbert, J. M., Piera, J., Spiers, H., Thiel, M., & Haklay, M. (2022). Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nature Reviews Methods Primers* 2:1, 2(1), 1–20. <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00144-4>
- Francocci, F., Trincardi, F., Barbanti, A., Zacchini, M., & Sprovieri, M. (2020). Linking Bioeconomy to Redevelopment in Contaminated Sites: Potentials and Enabling Factors. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00144>
- Frantzeskaki, N., & McPhearson, T. (2022). Mainstream Nature-Based Solutions for Urban Climate Resilience. *BioScience*, 72(2), 113–115. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIAB105>
- Frantzeskaki, N., McPhearson, T., & Kabisch, N. (2021). Urban sustainability science: prospects for innovations through a system’s perspective, relational and transformations’ approaches: This article belongs to Ambio’s 50th Anniversary

- Collection. Theme: Urbanization. *Ambio*, 50(9), 1650–1658. <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01521-1/TABLES/1>
- Fritsche, U., Brunori, G., Chiaramonti, D., Galanakis, C. M., Hellweg, S., Matthews, R., & Panoutsou, C. (2020). Future transitions for the bioeconomy towards sustainable development and a climate-neutral economy—knowledge synthesis final report. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, 95.
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144–152. <https://doi.org/10.1038/SCIENTIFICAMERICAN0989-144>
- Fuentes, A. (2020). The Evolution of a Human Imagination. *The Cambridge Handbook of the Imagination*, 13–29. <https://doi.org/10.1017/9781108580298.002>
- Fuss, M., Vasconcelos Barros, R. T., & Poganietz, W.-R. (2018). Designing a framework for municipal solid waste management towards sustainability in emerging economy countries - An application to a case study in Belo Horizonte (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 178, 655–664. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.051>
- Fuss, M., Vergara-Araya, M., Barros, R. T. V., & Poganietz, W. R. (2020). Implementing mechanical biological treatment in an emerging waste management system predominated by waste pickers: A Brazilian case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105031. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105031>
- Gallardo, A., Carlos, M., Colomer, F. J., & Edo-Alcón, N. (2017). Analysis of the waste selective collection at drop-off systems: Case study including the income level and the seasonal variation. *Https://Doi.Org/10.1177/0734242X17733539*, 36(1), 30–38. <https://doi.org/10.1177/0734242X17733539>
- Ganopolski, A., Winkelmann, R., & Schellnhuber, H. J. (2016). Critical insolation–CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature* 2016 529:7585, 529(7585), 200–203. <https://doi.org/10.1038/nature16494>
- Garrido, M. V., Kristensen, F. B., Busse, R., & Nielsen, C. P. (2008). *Health technology assessment and health policy-making in Europe: current status, challenges and potential* (Issue 14). WHO Regional Office Europe.
- Gatto, F., & Re, I. (2021). Circular bioeconomy business models to overcome the valley of death. A systematic statistical analysis of studies and projects in emerging bio-based technologies and trends linked to the sme instrument support. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–37. <https://doi.org/10.3390/su13041899>
- Gawel, E., Pannicke, N., & Hagemann, N. (2019). A path transition towards a bioeconomy- The crucial role of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11), 3005. <https://doi.org/10.3390/su11113005>
- Gebara, M. F., Ramcilovic-Suominen, S., & Schmidlehner, M. F. (2023). Indigenous Knowledge in the Amazon's Bioeconomy: Unveiling Bioepistemicide through the case of Kambo Medicine. *Forest Policy and Economics*, 154, 103012. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2023.103012>

- Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2018). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771–782. <https://doi.org/10.1002/tie.21924>
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1975). *Bio-economic aspects of entropy*.
- Giampietro, M. (2019). On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. *Ecological Economics*, 162, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>
- Giampietro, M. (2023). Reflections on the popularity of the circular bioeconomy concept: the ontological crisis of sustainability science. *Sustainability Science*, 18(2), 749–754. <https://doi.org/10.1007/S11625-022-01267-Z/METRICS>
- Giampietro, M., & Funtowicz, S. O. (2020). From elite folk science to the policy legend of the circular economy. *Environmental Science & Policy*, 109, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.012>
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (2018). Unraveling the complexity of the Jevons Paradox: The link between innovation, efficiency, and sustainability. *Frontiers in Energy Research*, 6(APR), 26. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2018.00026/BIBTEX>
- Giest, S., & Samuels, A. (2020). ‘For good measure’: data gaps in a big data world. *Policy Sciences*, 53(3), 559–569. <https://doi.org/10.1007/S11077-020-09384-1/TABLES/1>
- Gintis, H., Bowles, S., Boyd, R., & Fehr, E. (2005). *Moral sentiments and material interests: The foundations of cooperation in economic life* (Vol. 6). MIT press.
- Girardin, C. A. J., Jenkins, S., Seddon, N., Allen, M., Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Griscom, B. W., & Malhi, Y. (2021). Nature-based solutions can help cool the planet — if we act now. *Nature* 2021 593:7858, 593(7858), 191–194. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-01241-2>
- Giurca, A. (2022). Why is Communicating the Circular Bioeconomy so Challenging? *Circular Economy and Sustainability* 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1007/S43615-022-00229-Y>
- Gogoi, B., Nath, T., Kashyap, D., Sarma, S., & Kalita, R. (2020). Sustainable agriculture, forestry and fishery for bioeconomy. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Bioresources for the Emerging Bioeconomy*, 349–371. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64309-4.00015-5>
- Gokasar, I., Pamucar, D., Deveci, M., & Ding, W. (2023). A novel rough numbers based extended MACBETH method for the prioritization of the connected autonomous vehicles in real-time traffic management. *Expert Systems with Applications*, 211, 118445. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2022.118445>

- Goličnik Marušić, B., Dremel, M., & Ravnikar, Ž. (2023). A frame of understanding to better link nature-based solutions and urban planning. *Environmental Science & Policy*, 146, 47–56. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2023.05.005>
- Goltsos, T. E., Ponte, B., Wang, S., Liu, Y., Naim, M. M., & Syntetos, A. A. (2018). The boomerang returns? Accounting for the impact of uncertainties on the dynamics of remanufacturing systems. *Https://Doi.Org/10.1080/00207543.2018.1510191*, 57(23), 7361–7394. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1510191>
- Golubiewski, N. (2012). Is There a Metabolism of an Urban Ecosystem? An Ecological Critique. *AMBIO*, 41(7), 751–764. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0232-7>
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z., & Kremer, P. (2013). Urban ecosystem services. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*, 175–251.
- Goodman, C. M. (1987). The Delphi technique: a critique. *Journal of Advanced Nursing*, 12(6), 729–734. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2648.1987.TB01376.X>
- Goodman, L. A. (1961). Snowball Sampling. *The Annals of Mathematical Statistics*, 32(1), 148–170. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177705148>
- Gottinger, A., Ladu, L., & Quitzow, R. (2020). Studying the Transition towards a Circular Bioeconomy—A Systematic Literature Review on Transition Studies and Existing Barriers. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 8990, 12(21), 8990. <https://doi.org/10.3390/SU12218990>
- Govindan, K. (2018). Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, 195, 419–431. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2017.03.003>
- Gowdy, J. (2015). from bioeconomics to degrowth: Georgescu-Roegen's 'new economics' in eight essays. *Journal of Bioeconomics*, 18(1), 79–85. <https://doi.org/10.1007/s10818-015-9208-1>
- Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M., & Torrisi, G. (2019). On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness. *Social Indicators Research*, 141(1), 61–94. <https://doi.org/10.1007/S11205-017-1832-9/FIGURES/1>
- Greenacre, M. (2017). *Correspondence analysis in practice*. chapman and hall/crc.
- Greenacre, M. J. (1991). Interpreting multiple correspondence analysis. *Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 7(2), 195–210. <https://doi.org/10.1002/ASM.3150070208>
- Gregory, T. R. (2009). Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156–175. <https://doi.org/10.1007/S12052-009-0128-1/FIGURES/3>
- Guarnieri, P., Cerqueira-Streit, J. A., & Batista, L. C. (2020). Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular

- economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104541. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>
- Guarnieri, P., & Streit, J. A. C. (2015). Implications for waste pickers of Distrito Federal, Brazil arising from the obligation of reverse logistics by the National Policy of Solid Waste. *Latin American J. of Management for Sustainable Development*, 2(1), 19. <https://doi.org/10.1504/lajmsd.2015.067468>
- Guerrero-Bote, V. P., Chinchilla-Rodríguez, Z., Mendoza, A., & de Moya-Anegón, F. (2021). Comparative Analysis of the Bibliographic Data Sources Dimensions and Scopus: An Approach at the Country and Institutional Levels. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 5, 593494. <https://doi.org/10.3389/FRMA.2020.593494>
- Guerry, A. D., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G. C., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I. J., Duraiappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M. W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P. M., Keeler, B. L., Li, S., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., ... Vira, B. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(24), 7348–7355. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1503751112/ASSET/1F875962-3CD6-4547-A14F-2B0B708578FB/ASSETS/GRAPHIC/PNAS.1503751112FIG01.JPEG>
- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., Gomez-Baggethun, E., Gren, Å., Hamstead, Z., Hansen, R., Kabisch, N., Kremer, P., Langemeyer, J., Rall, E. L., McPhearson, T., Pauleit, S., Qureshi, S., Schwarz, N., Voigt, A., ... Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*, 43(4), 413–433. <https://doi.org/10.1007/S13280-014-0504-0/FIGURES/7>
- Haberl, H., & Geissler, S. (2000). Cascade utilization of biomass: strategies for a more efficient use of a scarce resource. *Ecological Engineering*, 16(SUPPL. 1), 111–121. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00059-8](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00059-8)
- Hadley Kershaw, E., Hartley, S., McLeod, C., & Polson, P. (2021). The Sustainable Path to a Circular Bioeconomy. *Trends in Biotechnology*, 39(6), 542–545. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2020.10.015>
- Hagen, M., Kissling, W. D., Rasmussen, C., De Aguiar, M. A. M., Brown, L. E., Carstensen, D. W., Alves-Dos-Santos, I., Dupont, Y. L., Edwards, F. K., Genini, J., Guimarães, P. R., Jenkins, G. B., Jordano, P., Kaiser-Bunbury, C. N., Ledger, M. E., Maia, K. P., Marquitti, F. M. D., McLaughlin, Ó., Morellato, L. P. C., ... Olesen, J. M. (2012). Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World. *Advances in Ecological Research*, 46, 89–210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396992-7.00002-2>
- Haggard, S. (2018). Theories of Business and. *Business and the State in Developing Countries*, 36.
- Hall, R. (1992). The strategic analysis of intangible resources. *Strategic Management Journal*, 13(2), 135–144. <https://doi.org/10.1002/SMJ.4250130205>

- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. In *Science* (Vol. 162, Issue 3859, pp. 1243–1248). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Hautamäki, A. (2022). Disagreement, Points of View, and Truth-Relativism. *Acta Analytica*, 37(4), 531–550. <https://doi.org/10.1007/S12136-021-00504-X/FIGURES/1>
- Havlin, S., Kenett, D. Y., Ben-Jacob, E., Bunde, A., Cohen, R., Hermann, H., Kantelhardt, J. W., Kertész, J., Kirkpatrick, S., Kurths, J., Portugali, J., & Solomon, S. (2012). Challenges in network science: Applications to infrastructures, climate, social systems and economics. *The European Physical Journal Special Topics* 2012 214:1, 214(1), 273–293. <https://doi.org/10.1140/EPJST/E2012-01695-X>
- Heinrichs, H., Martens, P., & Wiek, A. (2016). *Sustainability science*. Springer.
- Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis – where are we now?: A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*, 3(3), 215–251. <https://doi.org/10.1108/17554251011064837/FULL/PDF>
- Hendrix, C. S., Koubi, V., Selby, J., Siddiqi, A., & von Uexkull, N. (2023). Climate change and conflict. *Nature Reviews Earth & Environment* 2023 4:3, 4(3), 144–148. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00382-w>
- Hetemäki, L., Hanewinke, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M., & Trasobares, A. (2017). *Leading the way to a European circular bioeconomy strategy* (5th ed.). European Forest Institute. http://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_5_2017.pdf
- Holden, N. M., Neill, A. M., Stout, J. C., Morris, M. A., & Holden NickHolden, N. M. (2022). Biocircularity: a Framework to Define Sustainable, Circular Bioeconomy. *Circular Economy and Sustainability* 2022 3:1, 3(1), 77–91. <https://doi.org/10.1007/S43615-022-00180-Y>
- Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175(November), 525–543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>
- Hosseinpoor, A. R., Bergen, N., Schlotheuber, A., & Boerma, T. (2018). National health inequality monitoring: current challenges and opportunities. *Https://Doi.Org/10.1080/16549716.2017.1392216*, 11. <https://doi.org/10.1080/16549716.2017.1392216>
- Howdon, D., Hinde, S., Lomas, J., & Franklin, M. (2022). Economic Evaluation Evidence for Resource-Allocation Decision Making: Bridging the Gap for Local Decision Makers Using English Case Studies. *Applied Health Economics and Health Policy*, 20(6), 783–792. <https://doi.org/10.1007/S40258-022-00756-7/METRICS>
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi technique: making sense of consensus. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(10), 1–8.

- Hu, M. M., & Regenauer-Lieb, K. (2018). Entropic limit analysis applied to radial cavity expansion problems. *Frontiers in Materials*, 5, 47. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2018.00047/BIBTEX>
- Huang, L., Wu, J., & Yan, L. (2015). Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators. *Landscape Ecology* 2015 30:7, 30(7), 1175–1193. <https://doi.org/10.1007/S10980-015-0208-2>
- Hurmekoski, E., Lovrić, M., Lovrić, N., Hetemäki, L., & Winkel, G. (2019). Frontiers of the forest-based bioeconomy – A European Delphi study. *Forest Policy and Economics*, 102, 86–99. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2019.03.008>
- Hwang, S., Nam, T., & Ha, H. (2021). From evidence-based policy making to data-driven administration: proposing the data vs. value framework. *Https://Doi.Org/10.1080/12294659.2021.1974176*, 26(3), 291–307. <https://doi.org/10.1080/12294659.2021.1974176>
- IBGE. (2019). *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2019* (40th ed.). IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais.
- IBGE. (2021). *Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2021*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>.
- Ibn-Mohammed, T., Mustapha, K. B., Godsell, J., Adamu, Z., Babatunde, K. A., Akintade, D. D., Acquaye, A., Fujii, H., Ndiaye, M. M., Yamoah, F. A., & Koh, S. C. L. (2021). A critical analysis of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105169. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105169>
- Ingold, K., Driessen, P. P. J., Runhaar, H. A. C., & Widmer, A. (2018). On the necessity of connectivity: linking key characteristics of environmental problems with governance modes. *Https://Doi.Org/10.1080/09640568.2018.1486700*, 62(11), 1821–1844. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1486700>
- Irfan, M., Elavarasan, R. M., Ahmad, M., Mohsin, M., Dagar, V., & Hao, Y. (2022). Prioritizing and overcoming biomass energy barriers: Application of AHP and G-TOPSIS approaches. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121524. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.121524>
- Ishizaka, A., & Siraj, S. (2018). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 462–471. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2017.05.041>
- ISWA. (2021). *ISWA Annual Report 2021*.
- Jabbour, A. B., Jabbour, C., Govindan, K., Kannan, D., & Arantes, A. F. (2014). Mixed methodology to analyze the relationship between maturity of environmental management and the adoption of green supply chain management in Brazil. *Resources*,

- Conservation and Recycling*, 92, 255–267. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.02.004>
- Jabbour, A. B. L. de S., Jabbour, C. J. C., Sarkis, J., & Govindan, K. (2014). Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(1), 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0600-z>
- Jablonski, D. (2008). Biotic interactions and macroevolution: extensions and mismatches across scales and levels. *Evolution*, 62(4), 715–739. <https://doi.org/10.1111/J.1558-5646.2008.00317.X>
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2009.09.011>
- Jain, A., Sarsaiya, S., Kumar Awasthi, M., Singh, R., Rajput, R., Mishra, U. C., Chen, J., & Shi, J. (2022). Bioenergy and bio-products from bio-waste and its associated modern circular economy: Current research trends, challenges, and future outlooks. *Fuel*, 307, 121859. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2021.121859>
- Jakimowicz, A. (2020). The Role of Entropy in the Development of Economics. *Entropy*, 22(4). <https://doi.org/10.3390/E22040452>
- Jarre, M., Petit-Boix, A., Priefer, C., Meyer, R., & Leipold, S. (2020). Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? *Forest Policy and Economics*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.01.017>
- Jugend, D., Fiorini, P. de C., Pinheiro, M. A. P., da Silva, H. M. R., & Pais Seles, B. M. R. (2020). Building Circular Products in an Emerging Economy: An Initial Exploration Regarding Practices, Drivers and Barriers : Case studies of new product development from medium and large Brazilian companies. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(1), 59–68. <https://doi.org/10.1595/205651320X15706349546439>
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., & Hansen, R. (2022). Principles for urban nature-based solutions. *Ambio*, 51(6), 1388–1401. <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01685-W/TABLES/1>
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, Published Online: Jun 01, 2016 | Doi:10.5751/ES-08373-210239, 21(2). <https://doi.org/10.5751/ES-08373-210239>
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., & Khan, N. (2021). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*, 3(1), e135. <https://doi.org/10.1002/EST2.135>
- Kapoor, V., Tripathi, S., Devi, R. S., Srivastava, P., & Bhadouria, R. (2020). Ecological economics of an urban settlement: an overview. *Urban Ecology*, 91–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00006-9>

- Kapsalis, V. C., Kyriakopoulos, G. L., & Aravossis, K. G. (2019). Investigation of Ecosystem Services and Circular Economy Interactions under an Inter-organizational Framework. *Energies* 2019, Vol. 12, Page 1734, 12(9), 1734. <https://doi.org/10.3390/EN12091734>
- Kardung, M., Cingiz, K., Costenoble, O., Delahaye, R., Heijman, W., Lovrić, M., van Leeuwen, M., M'barek, R., van Meijl, H., Piotrowski, S., Ronzon, T., Sauer, J., Verhoog, D., Verkerk, P. J., Vracholi, M., Wesseler, J. H. H., & Zhu, B. X. (2021). Development of the circular bioeconomy: Drivers and indicators. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su13010413>
- Kardung, M., & Drabik, D. (2021). Full speed ahead or floating around? Dynamics of selected circular bioeconomies in Europe. *Ecological Economics*, 188, 107146. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2021.107146>
- Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grubler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kaspersen, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., ... Svedin, U. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292(5517), 641–642. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1059386>
- Kay, J. J., Regier, H. A., Boyle, M., & Francis, G. (1999). An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures*, 31(7), 721–742. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(99\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(99)00029-4)
- Keeney, R. L., Raiffa, H., & Meyer, R. F. (1993). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press.
- Keeney, S., Hasson, F., & McKenna, H. P. (2001). A critical review of the Delphi technique as a research methodology for nursing. *International Journal of Nursing Studies*, 38(2), 195–200. [https://doi.org/10.1016/S0020-7489\(00\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7489(00)00044-4)
- Kehr, F., & Kowatsch, T. (2015). Quantitative Longitudinal Research: A Review of IS Literature, and a Set of Methodological Guidelines. *ECIS 2015 Completed Research Papers*. <https://doi.org/10.18151/7217378>
- Keith, D. A., Ferrer-Paris, J. R., Nicholson, E., Bishop, M. J., Polidoro, B. A., Ramirez-Llodra, E., Tozer, M. G., Nel, J. L., Mac Nally, R., Gregr, E. J., Watermeyer, K. E., Essl, F., Faber-Langendoen, D., Franklin, J., Lehmann, C. E. R., Etter, A., Roux, D. J., Stark, J. S., Rowland, J. A., ... Kingsford, R. T. (2022). A function-based typology for Earth's ecosystems. *Nature* 2022 610:7932, 610(7932), 513–518. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05318-4>
- Keith, D. A., Ferrer-Paris, J. R., Nicholson, E., & Kingsford, R. (2020). Global Ecosystem Typology 2.0: descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. In D. A. Keith, J. R. Ferrer-Paris, E. Nicholson, & R. T. Kingsford (Eds.), *IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups*. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>

- Keping, Y. (2018). Governance and Good Governance: A New Framework for Political Analysis. *Fudan Journal of the Humanities and Social Sciences*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/S40647-017-0197-4/METRICS>
- Kircher, M., & Bayer, T. (2022). How to Realize an Urban Circular Bioeconomy. *Handbook of Waste Biorefinery*, 895–913. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06562-0_35
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.09.005>
- Klaassen, G. A. J., & Opschoor, J. B. (1991). Economics of sustainability or the sustainability of economics: Different paradigms. *Ecological Economics*, 4(2), 93–115. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(91\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0921-8009(91)90024-9)
- Kolfschoten, G., Lukosch, S., Verbraeck, A., Valentin, E., & Vreede, G. J. de. (2010). Cognitive learning efficiency through the use of design patterns in teaching. *Computers & Education*, 54(3), 652–660. <https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2009.09.028>
- Kondratyeva, A., Knapp, S., Durka, W., Kühn, I., Vallet, J., Machon, N., Martin, G., Motard, E., Grandcolas, P., & Pavoine, S. (2020). Urbanization Effects on Biodiversity Revealed by a Two-Scale Analysis of Species Functional Uniqueness vs. Redundancy. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 0, 73. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2020.00073>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.06.041>
- Kraak, M.-J., & Ormeling, F. (2020). *Cartography: visualization of geospatial data*. CRC Press.
- Krapivin, V. F., & Varotsos, C. A. (2008). Biogeochemical Cycles in Globalization and Sustainable Development. In *Biogeochemical Cycles in Globalization and Sustainable Development*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-75440-4>
- Kravchenko, M., Pigosso, D. C., & McAloone, T. C. (2019). Towards the ex-ante sustainability screening of circular economy initiatives in manufacturing companies: Consolidation of leading sustainability-related performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118318. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118318>
- Kröger, M. (2022). *Extractivisms, existences and extinctions: Monoculture plantations and Amazon deforestation*. Taylor & Francis.
- Krosnick, J. A. (2003). Survey research. <https://doi.org/10.1146/Annurev.Psych.50.1.537>, 50, 537–567. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PSYCH.50.1.537>
- Krueger, E. H., Constantino, S. M., Centeno, M. A., Elmqvist, T., Weber, E. U., & Levin, S. A. (2022). Governing sustainable transformations of urban social-ecological-technological systems. *Npj Urban Sustainability* 2022 2:1, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00053-1>

- Kumar, B., & Verma, P. (2021). Biomass-based biorefineries: An important architype towards a circular economy. *Fuel*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119622>
- Kumar, M., & Kumar, P. (2008). Valuation of the ecosystem services: A psycho-cultural perspective. *Ecological Economics*, 64(4), 808–819. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2007.05.008>
- Kümmerer, K., Clark, J. H., & Zuin, V. G. (2020). Rethinking chemistry for a circular economy. *Science*, 367(6476), 369–370. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABA4979>
- Kumpulainen, M., & Seppänen, M. (2022). Combining Web of Science and Scopus datasets in citation-based literature study. *Scientometrics*, 127(10), 5613–5631. <https://doi.org/10.1007/S11192-022-04475-7/TABLES/3>
- Kunz, N., Mayers, K., & Van Wassenhove, L. N. (2018). Stakeholder Views on Extended Producer Responsibility and the Circular Economy. *California Management Review*, 60(3), 45–70. https://doi.org/10.1177/0008125617752694/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0008125617752694-FIG1.JPEG
- Kusek, J. Z., & Rist, R. C. (2004). *Ten steps to a results-based monitoring and evaluation system: a handbook for development practitioners*. World Bank Publications.
- La Notte, A., D’Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M. L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., & Crossman, N. D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, 74, 392–402. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.11.030>
- Labreuche, C., Mayag, B., & Duqueroie, B. (2015). Extension of the MACBETH approach to elicit an ordered weighted average operator. *EURO Journal on Decision Processes*, 3(1–2), 65–105. <https://doi.org/10.1007/S40070-015-0041-5>
- Ladu, L., & Morone, P. P. (2021). Holistic approach in the evaluation of the sustainability of bio-based products: An Integrated Assessment Tool. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 911–924e6. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.07.006>
- Landi, P., Minoarivelo, H. O., Brännström, Å., Hui, C., & Dieckmann, U. (2018). Complexity and stability of ecological networks: a review of the theory. *Population Ecology*, 60(4), 319–345. <https://doi.org/10.1007/S10144-018-0628-3/TABLES/6>
- Langemeyer, J., & Connolly, J. J. T. (2020). Weaving notions of justice into urban ecosystem services research and practice. *Environmental Science & Policy*, 109, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2020.03.021>
- Le Blanc, D. (2015). Towards Integration at Last? The Sustainable Development Goals as a Network of Targets. *Sustainable Development*, 23(3), 176–187. <https://doi.org/10.1002/sd.1582>
- Leff, E. (2019). Ecotechnological productivity: the emergence of a concept, its implications and applications for sustainable development. *Presentado En La Conferencia “Implications and Applications of Bioeconomics”*, Palma de Mallorca, 11–13.

- Leme Lopes, C., & Chiavari, J. (2022). *Bioeconomia na Amazônia: Análise Conceitual, Regulatória e Institucional*.
- Lerner, R. M., Schwartz, S. J., & Phelps, E. (2009). Problematics of Time and Timing in the Longitudinal Study of Human Development: Theoretical and Methodological Issues. *Human Development*, 52(1), 44. <https://doi.org/10.1159/000189215>
- Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(1), 43. <https://doi.org/10.3390/su8010043>
- Lewis, J. (2016). Using ATLAS. ti to facilitate data analysis for a systematic review of leadership competencies in the completion of a doctoral dissertation. *Available at SSRN 2850726*.
- Lewis, J., Schneegans, S., & Straza, T. (2021). *UNESCO Science Report: The race against time for smarter development* (Vol. 2021). Unesco Publishing.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *Annals of Internal Medicine*, 151(4). https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00136/SUPPL_FILE/PRISMA_FIGURE-S1.DOC
- Lima, P. D. M., Colvero, D. A., Gomes, A. P., Wenzel, H., Schalch, V., & Cimpan, C. (2018). Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. *Waste Management*, 78, 857–870. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.07.007>
- Liu, J., & Niyogi, D. (2019). Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. *Scientific Reports 2019 9:1*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42494-2>
- Lobo, J., Aggarwal, R. M., Alberti, M., Allen-Dumas, M., Bettencourt, L. M. A., Boone, C., Brelsford, C., Broto, V. C., Eakin, H., Bagchi-Sen, S., Meerow, S., D’Cruz, C., Revi, A., Roberts, D. C., Smith, M. E., York, A., Lin, T., Bai, X., Solecki, W., ... Gauthier, N. (2023). Integration of urban science and urban climate adaptation research: opportunities to advance climate action. *Npj Urban Sustainability 2023 3:1*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00113-0>
- Lockwood, M., Davidson, J., Curtis, A., Stratford, E., & Griffith, R. (2010). Governance Principles for Natural Resource Management. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/08941920802178214*, 23(10), 986–1001. <https://doi.org/10.1080/08941920802178214>
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2017 16:1*, 16(1), 81–130. <https://doi.org/10.1007/S11157-017-9422-5>
- Lokesh, K., Ladu, L., & Summerton, L. (2018). Bridging the Gaps for a ‘Circular’ Bioeconomy: Selection Criteria, Bio-Based Value Chain and Stakeholder Mapping.

- Sustainability* 2018, Vol. 10, Page 1695, 10(6), 1695. <https://doi.org/10.3390/SU10061695>
- Longaray, A. A., Ensslin, L., Dutra, A., Ensslin, S., Brasil, R., & Munhoz, P. (2019). Using MCDA-C to assess the organizational performance of industries operating at Brazilian maritime port terminals. *Operations Research Perspectives*, 6, 100109. <https://doi.org/10.1016/J.ORM.2019.100109>
- López-Molina, A., Sengupta, D., Shi, C., Aldamigh, E., Alandejani, M., & El-Halwagi, M. M. (2020). An Integrated Approach to the Design of Centralized and Decentralized Biorefineries with Environmental, Safety, and Economic Objectives. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 1682, 8(12), 1682. <https://doi.org/10.3390/PR8121682>
- Losacker, S., Heiden, S., Liefner, I., & Lucas, H. (2023). Rethinking bioeconomy innovation in sustainability transitions. *Technology in Society*, 74, 102291. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2023.102291>
- Lowe, E. C., Steven, R., Morris, R. L., Parris, K. M., Aguiar, A. C., Webb, C. E., Bugnot, A. B., Dafforn, K. A., Connolly, R. M., & Mayer Pinto, M. (2022). Supporting urban ecosystem services across terrestrial, marine and freshwater realms. *Science of The Total Environment*, 817, 152689. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152689>
- Lwanga, E. H., Beriot, N., Corradini, F., Silva, V., Yang, X., Baartman, J., Rezaei, M., van Schaik, L., Riksen, M., & Geissen, V. (2022). Review of microplastic sources, transport pathways and correlations with other soil stressors: a journey from agricultural sites into the environment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2022 9:1, 9(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S40538-021-00278-9>
- Machin, A. (2012). Decisions, disagreement and responsibility: towards an agonistic green citizenship. *Environmental Politics*, 21(6), 847–863. <https://doi.org/10.1080/09644016.2012.712791>
- Madadian, E., Haelssig, J. B., Mohebbi, M., & Pegg, M. (2021). From biorefinery landfills towards a sustainable circular bioeconomy: A techno-economic and environmental analysis in Atlantic Canada. *Journal of Cleaner Production*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126590>
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Grizzetti, B., Barredo, J., Paracchini, M. L., Condé, S., Somma, F., Orgiazzi, A., & Jones, A. (2018). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, 1–75.
- Mahajan, V., Linstone, H. A., & Turoff, M. (2006). The Delphi Method: Techniques and Applications. *Journal of Marketing Research*, 13(3), 317. <https://doi.org/10.2307/3150755>
- Maitre-Ekern, E. (2021). Re-thinking producer responsibility for a sustainable circular economy from extended producer responsibility to pre-market producer responsibility. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125454.
- Mak, T. M. W., Xiong, X., Tsang, D. C. W., Yu, I. K. M., & Poon, C. S. (2020). Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and

- opportunities. *Bioresource Technology*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122497>
- Maller, C. (2021). Re-orienting nature-based solutions with more-than-human thinking. *Cities*, 113, 103155. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2021.103155>
- Mancini, S. D., Araújo De Medeiros, G., Paes, M. X., Benone, &, Souza De Oliveira, O., Lúcia, M., Antunes, P., Gabbay De Souza, R., Lázaro Ferraz, J., Bortoleto, A. P., Antônio, J., & De Oliveira, P. (2021). Circular Economy and Solid Waste Management: Challenges and Opportunities in Brazil. *Circular Economy and Sustainability 2021 1:1*, 1(1), 261–282. <https://doi.org/10.1007/S43615-021-00031-2>
- Marcone, R. D., Schmid, M., & Meylan, G. (2022). Closing the gap between EU-wide national bioeconomy monitoring frameworks and urban circular bioeconomy development. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134563. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134563>
- Marques, J. B. V., Freitas, D. de, Marques, J. B. V., & Freitas, D. de. (2018). Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-Posições*, 29(2), 389–415. <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>
- Marshall, R. E., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), 988–1003. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.12.023>
- Martínez, M. A., Cobo, M. J., Herrera, M., & Herrera-Viedma, E. (2014). Analyzing the Scientific Evolution of Social Work Using Science Mapping. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/1049731514522101*, 25(2), 257–277. <https://doi.org/10.1177/1049731514522101>
- Masrom, N. R., Abd Rahman, N. A., & Daut, B. A. T. (2018). Industrial solid waste management for better green supply chain: barriers and motivation. *International Journal of Human and Technology Interaction (IJHaTI)*, 2(1), 97–106.
- Mayer, A., Schaffartzik, A., Haas, W., & Rojas-Sepúlveda, A. (2015). Patterns of global biomass trade – Implications for food sovereignty and socio-environmental conflicts. *EJOLT Report*, 20, 109. <http://www.ejolt.org/2015/03/patterns-global-biomass-trade/>
- Mayumi, K. (2001). *The origins of ecological economics: the bioeconomics of Georgescu-Roegen*. Routledge.
- McLaren, D., & Markusson, N. (2020). The co-evolution of technological promises, modelling, policies and climate change targets. *Nature Climate Change* 2020 10:5, 10(5), 392–397. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0740-1>
- McPhearson, T., Cook, E. M., Berbés-Blázquez, M., Cheng, C., Grimm, N. B., Andersson, E., Barbosa, O., Chandler, D. G., Chang, H., Chester, M. V., Childers, D. L., Elser, S. R., Frantzeskaki, N., Grabowski, Z., Groffman, P., Hale, R. L., Iwaniec, D. M., Kabisch, N., Kennedy, C., ... Troxler, T. G. (2022). A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*, 5(5), 505–518. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2022.04.007>

- MCTI. (2023). *MCTIC elabora retrato mais recente da ciência, tecnologia e inovação no Brasil*. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/05/mcti-elabora-retrato-mais-recente-da-ciencia-tecnologia-e-inovacao-no-brasil>
- MCTIC. (2016). *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022*. http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Politica/16_03_2018_Estrategia_Nacional_de_Ciencia_Tecnologia_e_Inovacao_2016_2022.pdf
- Michalak, A. M., Xia, J., Brdjanovic, D., Mbiyozo, A.-N., Sedlak, D., Pradeep, T., Lall, U., Rao, N., & Gupta, J. (2023). The frontiers of water and sanitation. *Nature Water* 2023 1:1, 1(1), 10–18. <https://doi.org/10.1038/s44221-022-00020-1>
- Ministério do Meio Ambiente. (2021). *Programa Lixão Zero reduziu em 17% a quantidade de lixões em 2020*. <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2021/02/programa-lixao-zero-reduziu-em-17-a-quantidade-de-lixoes-em-2020>
- Moktadir, Md. A., Dwivedi, A., & Rahman, T. (2022). Antecedents for circular bioeconomy practices towards sustainability of supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 348, 131329. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131329>
- Mollashahi, H., & Szymura, M. (2021). Urban Ecosystem: An Interaction of Biological and Physical Components. *Biodiversity of Ecosystems*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.97742>
- Monte-Mór, R. L. de M. (1994). Urbanização extensiva e lógicas de povoamento: um olhar ambiental. *Território, Globalização e Fragmentação*. São Paulo: HUCITEC/ANPUR, 1994, 169–181.
- Moore, J. W. (2016). *The rise of cheap nature*.
- Morales, M. E., Lhuillery, S., & Ghobakhloo, M. (2022). Circularity effect in the viability of bio-based industrial symbiosis: Tackling extraordinary events in value chains. *Journal of Cleaner Production*, 348, 131387. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131387>
- Moreira, A. M. M., Günther, W. M. R., & Siqueira, C. E. G. (2019). Workers' perception of hazards on recycling sorting facilities in São Paulo, Brazil. *Ciencia e Saude Coletiva*, 24(3), 771–780. <https://doi.org/10.1590/1413-81232018243.01852017>
- Mormina, M. (2019). Science, Technology and Innovation as Social Goods for Development: Rethinking Research Capacity Building from Sen's Capabilities Approach. *Science and Engineering Ethics*, 25(3), 671–692. <https://doi.org/10.1007/S11948-018-0037-1/METRICS>
- Morone, P., Caferra, R., D'Adamo, I., Falcone, P. M., Imbert, E., & Morone, A. (2021). Consumer willingness to pay for bio-based products: Do certifications matter? *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108248>

- Morone, P., & D'Amato, D. (2019). The role of sustainability standards in the uptake of bio-based chemicals. *CURRENT OPINION IN GREEN AND SUSTAINABLE CHEMISTRY*, 19, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.05.003>
- Morse, J. M. (2010). “cherry picking”: Writing from thin data. *Qualitative Health Research*, 20(1), 3. <https://doi.org/10.1177/1049732309354285>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104553>
- Mougenot, B., & Doussoulin, J. P. (2022). Conceptual evolution of the bioeconomy: a bibliometric analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 1031–1047. <https://doi.org/10.1007/S10668-021-01481-2/FIGURES/10>
- Murthy, G. S. (2019). Systems analysis frameworks for biorefineries. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00003-8>
- Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., Van Zanten, H. H. E., Metze, T. A. P., Termeer, C. J. A. M., van Ittersum, M. K., & de Boer, I. J. M. (2021). Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food*, 2(8), 561–566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S. , Hoffman, A. , & Giovannini, E. (2005). *Handbook on Constructing Composite Indicators Methodology and User Guide*.
- Navare, K., Muys, B., Vrancken, K. C., & Van Acker, K. (2021). Circular economy monitoring – How to make it apt for biological cycles? *Resources, Conservation and Recycling*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105563>
- Norde, W. (1997). Energy and entropy: A thermodynamic approach to sustainability. *Environmentalist*, 17(1), 57–62. <https://doi.org/10.1023/A:1018535529785>
- OECD. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- OECD. (2016). *Extended Producer Responsibility*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264256385-en>
- O'Hara, S. (1995). Sustainability: Social and ecological dimensions. *Review of Social Economy*, 53(4), 529–551.
- Okeke, F. O., Eziyi, I. O., Udeh, C. A., & Ezema, E. C. (2020). City as Habitat; Assembling the Fragile City. *Civil Engineering Journal*, 6(6), 1143–1154. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2020-03091536>
- Oliveira, F. R. de, França, S. L. B., & Rangel, L. A. D. (2018). Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 202–209. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.10.031>

- Oliveira, M. D., Mataloto, I., & Kanavos, P. (2019). Multi-criteria decision analysis for health technology assessment: addressing methodological challenges to improve the state of the art. *The European Journal of Health Economics* 2019 20:6, 20(6), 891–918. <https://doi.org/10.1007/S10198-019-01052-3>
- Ollinaho, O. I., & Kröger, M. (2023). Separating the two faces of “bioeconomy”: Plantation economy and sociobiodiverse economy in Brazil. *Forest Policy and Economics*, 149, 102932. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2023.102932>
- Olson, M. (1971). *The logic of collective action* (Vol. 2nd). Harvard University Press.
- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265–2300. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2007.05.001>
- Osaka, S., Bellamy, R., & Castree, N. (2021). Framing “nature-based” solutions to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(5), e729. <https://doi.org/10.1002/WCC.729>
- Ostrom, E. (2000). Collective Action and the Evolution of Social Norms. *Journal of Economic Perspectives*, 14(3), 137–158. <https://doi.org/10.1257/JEP.14.3.137>
- Ostrom, E. (2015). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge university press.
- O’Sullivan, J. N. (2020). The social and environmental influences of population growth rate and demographic pressure deserve greater attention in ecological economics. *Ecological Economics*, 172, 106648. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2020.106648>
- Otto, S., Hildebrandt, J., Will, M., Henn, L., & Beer, K. (2021). Tying Up Loose Ends. Integrating Consumers’ Psychology into a Broad Interdisciplinary Perspective on a Circular Sustainable Bioeconomy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 34(2). <https://doi.org/10.1007/s10806-021-09851-6>
- Paes, M. X., Campos-Silva, J. V., & de Oliveira, J. A. P. (2021). Integrating circular economy in urban Amazon. *Npj Urban Sustainability* 2021 1:1, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00031-z>
- Pan, R. K., & Fortunato, S. (2014). Author Impact Factor: tracking the dynamics of individual scientific impact. *Scientific Reports*, 4(1), 1–7.
- Parlina, A., Ramli, K., & Murfi, H. (2020). Theme Mapping and Bibliometrics Analysis of One Decade of Big Data Research in the Scopus Database. *Information* 2020, Vol. 11, Page 69, 11(2), 69. <https://doi.org/10.3390/INFO11020069>
- Pataki, D. E. (2015). Grand challenges in urban ecology. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3(JUN), 57. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2015.00057/BIBTEX>
- Patermann, C., & Aguilar, A. (2018). The origins of the bioeconomy in the European Union. *New Biotechnology*, 40, 20–24. <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2017.04.002>

- Patterson, J., Soininen, N., Collier, M., & Raymond, C. M. (2021). Finding feasible action towards urban transformations. *Npj Urban Sustainability* 2021 1:1, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00029-7>
- Pelorusso, R., Gobattoni, F., & Leone, A. (2017). The low-entropy city: A thermodynamic approach to reconnect urban systems with nature. *Landscape and Urban Planning*, 168, 22–30. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2017.10.002>
- Phillips, L. D. (2007). Decision Conferencing. *Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications*, 375–399. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611308.020>
- Phillips, L. D., & Bana E Costa, C. A. (2007). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154(1), 51–68. <https://doi.org/10.1007/S10479-007-0183-3/METRICS>
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C., & Costanza, R. (2003). Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas1. <Http://Dx.Doi.Org/10.1146/Annurev.Ecolsys.32.081501.114012>, 32, 127–157. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.32.081501.114012>
- Pimentel, R. (2022). “Equal Before the Law,” But Not in Practice: Brazil’s Social Inequality Crisis. <https://harvardpolitics.com/brazil-social-inequality/>
- Pineda-Pinto, M., Frantzeskaki, N., & Nygaard, C. A. (2021). The potential of nature-based solutions to deliver ecologically just cities: Lessons for research and urban planning from a systematic literature review. *Ambio* 2021 51:1, 51(1), 167–182. <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01553-7>
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., & Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 483–499. <https://doi.org/10.1002/BSE.2905>
- Pires, A., & Martinho, G. (2019). Waste hierarchy index for circular economy in waste management. *Waste Management*, 95, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.014>
- Portes, A., & Roberts, B. R. (2005). The free-market city: Latin American urbanization in the years of the neoliberal experiment. *Studies in Comparative International Development*, 40(1), 43–82. <https://doi.org/10.1007/BF02686288/METRICS>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., & Biesbroek, R. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. *IPCC Sixth Assessment Report*.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.224>

- Purkus, A., Hagemann, N., Bedtke, N., & Gawel, E. (2018). Towards a sustainable innovation system for the German wood-based bioeconomy: Implications for policy design. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 172, 3955–3968. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.146>
- Rahla, K. M., Mateus, R., & Bragança, L. (2021). Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice. *Applied System Innovation* 2021, Vol. 4, Page 26, 4(2), 26. <https://doi.org/10.3390/ASI4020026>
- Rahman, S. M. M., & Kim, J. (2020). Circular economy, proximity, and shipbreaking: A material flow and environmental impact analysis. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120681. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120681>
- Ramcilovic-Suominen, S., Kröger, M., & Dressler, W. (2022). From pro-growth and planetary limits to degrowth and decoloniality: An emerging bioeconomy policy and research agenda. *Forest Policy and Economics*, 144, 102819. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2022.102819>
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Teng, M., Bennett, E. M., Holland, T., Benessaiah, K., MacDonald, G. K., & Pfeifer, L. (2010). Untangling the Environmentalist's Paradox: Why Is Human Well-being Increasing as Ecosystem Services Degrade? *BioScience*, 60(8), 576–589. <https://doi.org/10.1525/BIO.2010.60.8.4>
- Raymond, C. M., Lechner, A. M., Havu, M., Jalkanen, J., Lampinen, J., Antúnez, O. G., Olafsson, A. S., Gulsrud, N., Kinnunen, A., Backman, L., Kulmala, L., & Järvi, L. (2023). Identifying where nature-based solutions can offer win-wins for carbon mitigation and biodiversity across knowledge systems. *Npj Urban Sustainability* 2023 3:1, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00103-2>
- Rebehy, P. C. P. W., Salgado Junior, A. P., Ometto, A. R., Espinoza, D. de F., Rossi, E., & Novi, J. C. (2023). Municipal solid waste management (MSWM) in Brazil: Drivers and best practices towards to circular economy based on European Union and BSI. *Journal of Cleaner Production*, 401, 136591. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136591>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Cropper, A., Dasgupta, P., Hassan, R., Leemans, R., May, R. M., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R. T., Zakri, A. H., & Shidong, Z. (2006). Nature: the many benefits of ecosystem services. *Nature* 2006 443:7113, 443(7113), 749–749. <https://doi.org/10.1038/443749a>
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.08.027>
- Renn, O., & Schweizer, P. J. (2020). Inclusive governance for energy policy making: conceptual foundations, applications, and lessons learned. *The Role of Public Participation in Energy Transitions*, 39–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819515-4.00003-9>

- Ribeiro, Y. H. M., Cruz Lamas, G., Castilho Faria Mendes, R., Simões Santanna, M., Caldeira-Pires, A., & Amaral Silveira, E. (2022). Energy Recovery from Municipal Solid Waste Combustion and Agropastoral Bio-digestion: Analysis of the Technical Feasibility in Brazil'Capital. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, 228–234. <https://doi.org/10.5071/30THEUBCE2022-1CV.2.7>
- Riege, A., & Lindsay, N. (2006). Knowledge management in the public sector: Stakeholder partnerships in the public policy development. *Journal of Knowledge Management*, 10(3), 24–39. <https://doi.org/10.1108/13673270610670830/FULL/PDF>
- Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. *Human Choice and Climate Change*, 2(2), 327–399.
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* 1973 4:2, 4(2), 155–169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>
- Robbins, P. (2019). *Political ecology: A critical introduction*. John Wiley & Sons.
- Rockström, J., Gupta, J., Qin, D., Lade, S. J., Abrams, J. F., Andersen, L. S., Armstrong McKay, D. I., Bai, X., Bala, G., Bunn, S. E., Ciobanu, D., DeClerck, F., Ebi, K., Gifford, L., Gordon, C., Hasan, S., Kanie, N., Lenton, T. M., Loriani, S., ... Zhang, X. (2023). Safe and just Earth system boundaries. *Nature* 2023, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. In *Nature* (Vol. 461, Issue 7263, pp. 472–475). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Romero-Lankao, P., McPhearson, T., & Davidson, D. J. (2017). The food-energy-water nexus and urban complexity. *Nature Climate Change* 2017 7:4, 7(4), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nclimate3260>
- Ronzon, T., & Sanjuán, A. I. (2020). Friends or foes? A compatibility assessment of bioeconomy-related Sustainable Development Goals for European policy coherence. *Journal of Cleaner Production*, 254, 119832. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119832>
- Rosen, R. (1991). *Life itself: a comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. Columbia University Press.
- Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials* 2022 7:2, 7(2), 117–137. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>
- Ross, S. R. P. J., Arnoldi, J. F., Loreau, M., White, C. D., Stout, J. C., Jackson, A. L., & Donohue, I. (2021). Universal scaling of robustness of ecosystem services to species loss. *Nature Communications* 2021 12:1, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25507-5>

- Rossi, E., Bertassini, A. C., Ferreira, C. dos S., Neves do Amaral, W. A., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119137. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119137>
- Rosvall, M., & Bergstrom, C. T. (2010). Mapping Change in Large Networks. *PLOS ONE*, 5(1), e8694. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0008694>
- Rothschild, E. (1994). Adam Smith and the invisible hand. *The American Economic Review*, 84(2), 319–322.
- Rowe, G., & Wright, G. (2001). *Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique* (pp. 125–144). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-306-47630-3_7
- Roy, B. (2005). Paradigms and challenges. *International Series in Operations Research and Management Science*, 78, 3–24. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_1/COVER
- Sachdeva, S., Garg, V. K., Labhsetwar, N. K., Singh, A., & Yogalakshmi, K. N. (2022). Zero Waste Biorefinery: A Comprehensive Outlook. *Energy, Environment, and Sustainability*, 3–22. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8682-5_1/COVER
- Sachs, J., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G., & Woelm, F. (2022). *Sustainable development report 2022*. Cambridge University Press.
- Saisana, M. (2004). Composite indicators: a review. *Proceedings of the Second Workshop on Composite Indicators of Country Performance*, 26–27.
- Saldaña, J. (2003). *Longitudinal qualitative research: Analyzing change through time*. Rowman Altamira.
- Salvador, R., Barros, M. V., Donner, M., Brito, P., Halog, A., & De Francisco, A. C. (2022). How to advance regional circular bioeconomy systems? Identifying barriers, challenges, drivers, and opportunities. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.04.025>
- Salvador, R., Puglieri, F., Halog, A., Andrade, F., Piekarski, C., & De Francisco, A. (2021). Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124341. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124341>
- Sanderson, I. (2002). Evaluation, Policy Learning and Evidence-Based Policy Making. *Public Administration*, 80(1), 1–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9299.00292>
- Satchatippavarn, S., Martinez-Hernandez, E., Leung Pah Hang, M. Y., Leach, M., & Yang, A. (2016). Urban biorefinery for waste processing. *Chemical Engineering Research and Design*, 107, 81–90. <https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2015.09.022>
- Satterthwaite, D. (2009). The implications of population growth and urbanization for climate change. [Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0956247809344361](http://Dx.Doi.Org/10.1177/0956247809344361), 21(2), 545–567. <https://doi.org/10.1177/0956247809344361>

- Savini, F., & Giezen, M. (2020). Responsibility as a field: The circular economy of water, waste, and energy. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 38(5), 866–884. <https://doi.org/10.1177/2399654420907622>
- Schagen, O. M., Metze, T. A. P., de Olde, E. M., & Termeer, C. J. A. M. (2023). Energizing a transformation to a circular bioeconomy: mechanisms to spread, deepen and broaden initiatives. *Sustainability Science*, 18(3), 1099–1115. <https://doi.org/10.1007/S11625-022-01249-1/FIGURES/3>
- Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Teksoz, K., Durand-Delacre, D., & Sachs, J. D. (2017). National baselines for the Sustainable Development Goals assessed in the SDG Index and Dashboards. *Nature Geoscience* 2017 10:8, 10(8), 547–555. <https://doi.org/10.1038/ngeo2985>
- Schneegans, S., Lewis, J., & Straza, T. (2021). *Relatório de Ciências da UNESCO: A corrida contra o tempo por um desenvolvimento mais inteligente—Resumo executivo e cenário brasileiro*. Paris: UNESCO.
- Schneider, E. D., & Kay, J. J. (1994). Complexity and thermodynamics: Towards a new ecology. *Futures*, 26(6), 626–647. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(94\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0016-3287(94)90034-5)
- Schoemaker, P. J. H., Heaton, S., & Teece, D. (2018). Innovation, Dynamic Capabilities, and Leadership: <https://doi.org/10.1177/0008125618790246>, 61(1), 15–42. <https://doi.org/10.1177/0008125618790246>
- Schöggel, J. P., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 163, p. 105073). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105073>
- Scholes, R. J., Reyers, B., Biggs, R., Spierenburg, M. J., & Duriappah, A. (2013). Multi-scale and cross-scale assessments of social–ecological systems and their ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 16–25. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2013.01.004>
- Selurb. (2022). *Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana 7ª edição*.
- Sen, A. K. (2009). *The Idea of Justice*. Harvard University Press.
- Sevigné-Itoiz, E., Mwabonje, O., Panoutsou, C., & Woods, J. (2021). Life cycle assessment (LCA): informing the development of a sustainable circular bioeconomy? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2206). <https://doi.org/10.1098/RSTA.2020.0352>
- Shahid, M. K., Batool, A., Kashif, A., Nawaz, M. H., Aslam, M., Iqbal, N., & Choi, Y. (2021). Biofuels and biorefineries: Development, application and future perspectives emphasizing the environmental and economic aspects. *Journal of Environmental Management*, 297, 113268. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113268>
- Sharifi, A., Simangan, D., & Kaneko, S. (2021). Three decades of research on climate change and peace: a bibliometrics analysis. *Sustainability Science*, 16(4), 1079–1095. <https://doi.org/10.1007/S11625-020-00853-3/TABLES/2>

- Sharma, R., & Malaviya, P. (2023). Ecosystem services and climate action from a circular bioeconomy perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175, 113164. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.113164>
- Sherwood, J. (2020). The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>
- Shi, Y., Lin, Y., Wang, S., Wen, H., Lim, M. K., & Tseng, M. L. (2023). Resource saving and carbon footprint reduction potential of urban symbiosis strategy in express packaging waste recycling network. *Waste Management*, 161, 17–28. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2023.02.023>
- Shochat, E., Warren, P. S., Faeth, S. H., McIntyre, N. E., & Hope, D. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(4), 186–191.
- Siegel, K. M., Deciancio, M., Kefeli, D., de Queiroz-Stein, G., & Dietz, T. (2022). Fostering Transitions Towards Sustainability? The Politics of Bioeconomy Development in Argentina, Uruguay, and Brazil. *Bulletin of Latin American Research*. <https://doi.org/10.1111/BLAR.13353>
- Sigman, D. M., & Boyle, E. A. (2000). Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide. *Nature* 2000 407:6806, 407(6806), 859–869. <https://doi.org/10.1038/35038000>
- Silva, W. D. O., & Fontana, M. E. (2021). Integrative multi-attribute negotiation model to define stakeholders' responsibilities in the reverse flow channel. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123752. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123752>
- Singh, S., & Hussain, C. M. (2021). Zero waste hierarchy for sustainable development. *Concepts of Advanced Zero Waste Tools: Present and Emerging Waste Management Practices*, 123–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822183-9.00006-4>
- Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126(6), 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/S11192-021-03948-5/FIGURES/5>
- Skulmoski, G. J., Hartman, F. T., & Krahn, J. (2007). The Delphi Method for Graduate Research The Delphi Method for Graduate. *Journal of Information Technology Education*, 6. <http://www.jite.org/documents/Vol6/JITEv6p001-021Skulmoski212.pdf>
- Skyttner, L. (1996). *General Systems Theory*. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-13532-5>
- Smith, P., Ashmore, M. R., Black, H. I. J., Burgess, P. J., Evans, C. D., Quine, T. A., Thomson, A. M., Hicks, K., & Orr, H. G. (2013). The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 812–829. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12016>
- SNIS. (2019). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf

- Solarte-Toro, J. C., & Cardona Alzate, C. A. (2021). Biorefineries as the base for accomplishing the sustainable development goals (SDGs) and the transition to bioeconomy: Technical aspects, challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 340, 125626. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125626>
- Søndergaard, N. (2021). Reforming in a democratic vacuum: the authoritarian neoliberalism of the Temer administration from 2016 to 2018. *Globalizations*, 18(4), 568–583.
- Song, S., Wang, S. H., Shi, M. X., Hu, S. S., & Xu, D. W. (2022). Multiple scenario simulation and optimization of an urban green infrastructure network based on complex network theory: a case study in Harbin City, China. *Ecological Processes*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S13717-022-00372-2/FIGURES/11>
- Souza, M. T. de, Silva, M. D. da, & Carvalho, R. de. (2010). Integrative review: what is it? How to do it? *Einstein (São Paulo)*, 8(1), 102–106. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>
- Spash, C. L. (2020). ‘The economy’ as if people mattered: revisiting critiques of economic growth in a time of crisis. *Globalizations*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1761612>
- Sreeharsha, R. V., & Venkata Mohan, S. (2021). Symbiotic integration of bioprocesses to design a self-sustainable life supporting ecosystem in a circular economy framework. *Bioresource Technology*, 326, 124712. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.124712>
- Srivastava, A. (2023). Governance in financial institutions: key elements and preventing the failures. *Asian Journal of Economics and Banking*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/AJEB-05-2022-0049>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling*, X, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/J.RCRX.2019.100029>
- Stevano, S., Franz, T., Dafermos, Y., & Van Waeyenberge, E. (2021). COVID-19 and crises of capitalism: intensifying inequalities and global responses. *https://doi.org/10.1080/02255189.2021.1892606*, 42(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1080/02255189.2021.1892606>
- Stevenson, H., Auld, G., Allan, J. I., Elliott, L., & Meadowcroft, J. (2021). The Practical Fit of Concepts: Ecosystem Services and the Value of Nature. *Global Environmental Politics*, 21(2), 3–22. https://doi.org/10.1162/GLEP_A_00587
- Strona, G., & Bradshaw, C. J. A. (2018). Co-extinctions annihilate planetary life during extreme environmental change. *Scientific Reports* 2018 8:1, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35068-1>

- Summers, J. K., Smith, L. M., Case, J. L., & Linthurst, R. A. (2012). A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services. *Ambio*, 41(4), 327–340. <https://doi.org/10.1007/S13280-012-0256-7/TABLES/1>
- Swanson, R. A., & Chermack, T. J. (2013). *Theory building in applied disciplines*. Berrett-Koehler Publishers.
- Sylla, M., Hagemann, N., & Szebrański, S. (2020). Mapping trade-offs and synergies among peri-urban ecosystem services to address spatial policy. *Environmental Science & Policy*, 112, 79–90. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2020.06.002>
- Taffuri, A., Sciallo, A., Diemer, A., & Nedelciu, C. E. (2021). Integrating Circular Bioeconomy and Urban Dynamics to Define an Innovative Management of Bio-Waste: The Study Case of Turin. *Sustainability*, 13(11), 6224. <https://doi.org/10.3390/su13116224>
- Talan, A., Tiwari, B., Yadav, B., Tyagi, R. D., Wong, J. W. C., & Drogui, P. (2021). Food waste valorization: Energy production using novel integrated systems. *Bioresource Technology*, 322, 124538. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124538>
- Tan, B. A., Gaw, L. Y. F., Masoudi, M., & Richards, D. R. (2021). Nature-Based Solutions for Urban Sustainability: An Ecosystem Services Assessment of Plans for Singapore's First "Forest Town." *Frontiers in Environmental Science*, 9, 610155. <https://doi.org/10.3389/FENV.2021.610155/BIBTEX>
- Taylor Buck, N., & While, A. (2020). The urban bioeconomy: extracting value from the ecological and biophysical. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1763931>, 182–201. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1763931>
- Taylor Buck, N., & While, A. (2021). The urban bioeconomy: extracting value from the ecological and biophysical. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(2), 182–201. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1763931>
- Terziovski, M., & Morgan, J. P. (2006). Management practices and strategies to accelerate the innovation cycle in the biotechnology industry. *Technovation*, 26(5–6), 545–552. <https://doi.org/10.1016/J.TECHNOVATION.2004.10.016>
- Torraco, R. J. (2016). Writing Integrative Literature Reviews: Using the Past and Present to Explore the Future. *Human Resource Development Review*, 15(4), 404–428. https://doi.org/10.1177/1534484316671606/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1534484316671606-FIG1.JPEG
- Tripathi, V., Edrisi, S. A., Chen, B., Gupta, V. K., Vilu, R., Gathergood, N., & Abhilash, P. C. (2017). Biotechnological Advances for Restoring Degraded Land for Sustainable Development. *Trends in Biotechnology*, 35(9), 847–859. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2017.05.001>
- Tsegaye, B., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2021). Food waste biorefinery: Pathway towards circular bioeconomy. *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061174>
- Tyulin, A. E., Chursin, A. A., Ragulina, J. V., Akberdina, V. V., & Yudin, A. V. (2023). The development of Kondratieff's theory of long waves: the place of the AI economy

- humanization in the ‘competencies-innovations-markets’ model. *Humanities and Social Sciences Communications* 2023 10:1, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01434-8>
- Ubando, A. T., Del Rosario, A. J. R., Chen, W. H., & Culaba, A. B. (2021). A state-of-the-art review of biowaste biorefinery. *Environmental Pollution*, 269, 116149. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.116149>
- Ubando, A. T., Felix, C. B., & Chen, W. H. (2020). Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 299, 122585. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.122585>
- Undesa. (2020). *World Social Report 2020: The challenge of inequality in a rapidly changing world*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <http://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2020/02/World-Social-Report2020-FullReport.pdf>
- UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020*. UN. <https://doi.org/10.18356/27bc31a5-en>
- Vamza, I., Kubule, A., Zihare, L., Valters, K., & Blumberga, D. (2021). Bioresource utilization index – A way to quantify and compare resource efficiency in production. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128791. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128791>
- Van Berkel, R., Fujita, T., Hashimoto, S., & Geng, Y. (2009). Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997–2006. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1544–1556. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2008.11.010>
- van Eeten, M. J. G., & Roe, E. (2002). The Paradox of the Rising Demand for Both a Better Environment and More Reliable Services. *Ecology, Engineering, and Management*. <https://doi.org/10.1093/OSO/9780195139686.003.0004>
- Velenturf, A. P. M., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437–1457. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.02.018>
- Venkatesh, G., & Se, V. G. (2021). Circular Bio-economy—Paradigm for the Future: Systematic Review of Scientific Journal Publications from 2015 to 2021. *Circular Economy and Sustainability* 2021 2:1, 2(1), 231–279. <https://doi.org/10.1007/S43615-021-00084-3>
- Venkatramanan, V., Shah, S., & Prasad, R. (2020). *Sustainable bioeconomy: pathways to sustainable development goals*. Springer Nature.
- Viaggi, D. (2018). Bioeconomy and the common agricultural policy: Will a strategy in search of policies meet a policy in search of strategies? *Bio-Based and Applied Economics*, 7(2), 179–190. <https://doi.org/10.13128/bae-7674>
- Viaggi, D., Bartolini, F., & Raggi, M. (2021). The Bioeconomy in economic literature: looking back, looking ahead. *Bio-Based and Applied Economics*, 10(3), 169–184. <https://doi.org/10.36253/BAE-10881>

- Viaggi, D., & Zavalloni, M. (2021). Bioeconomy and Circular Economy: Implications for Economic Evaluation in the Post-COVID Era. *Circular Economy and Sustainability* 2021 1:4, 1(4), 1257–1269. <https://doi.org/10.1007/S43615-021-00113-1>
- Vieira, A. C. L., Oliveira, M. D., & Bana e Costa, C. A. (2020). Enhancing knowledge construction processes within multicriteria decision analysis: The Collaborative Value Modelling framework. *Omega*, 94, 102047. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2019.03.005>
- Vivien, F. D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R., & Giampietro, M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, 159, 189–197. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2019.01.027>
- Vogelpohl, T. (2023). Understanding the bioeconomy through its instruments: standardizing sustainability, neoliberalizing bioeconomies? *Sustainability Science*, 18(2), 583–597. <https://doi.org/10.1007/S11625-022-01256-2/TABLES/2>
- Vogelsang, L. G., Weikard, H. P., van Loon-Steensma, J. M., & Bednar-Friedl, B. (2023). Assessing the cost-effectiveness of Nature-based Solutions under climate change uncertainty and learning. *Water Resources and Economics*, 43, 100224. <https://doi.org/10.1016/J.WRE.2023.100224>
- Vogt, J. V., Safriel, U., Von Maltitz, G., Sokona, Y., Zougmore, R., Bastin, G., & Hill, J. (2011). Monitoring and assessment of land degradation and desertification: Towards new conceptual and integrated approaches. *Land Degradation & Development*, 22(2), 150–165. <https://doi.org/10.1002/LDR.1075>
- Walls, M. (2006). Extended Producer Responsibility and Product Design: Economic Theory and Selected Case Studies. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.901661>
- Wamsler, C. (2020). Education for sustainability: Fostering a more conscious society and transformation towards sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(1), 112–130. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2019-0152/FULL/PDF>
- Wang, X., Li, Y., Liu, N., & Zhang, Y. (2020). An urban material flow analysis framework and measurement method from the perspective of urban metabolism. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120564. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120564>
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86, 107–124. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2018.07.004>
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature* 1998 393:6684, 393(6684), 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- Wehrl, A. (1978). General properties of entropy. *Reviews of Modern Physics*, 50(2), 221. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.50.221>
- Wei, T., Wu, J., & Chen, S. (2021). Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide. *Frontiers in Sustainable Cities*, 0, 64. <https://doi.org/10.3389/FRSC.2021.696381>

- Wei, X., Liu, Q., Pu, A., Wang, S., Chen, F., Zhang, L., Zhang, Y., Dong, Z., & Wan, X. (2022). Knowledge Mapping of bioeconomy: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133824. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133824>
- Weidner, T., & Yang, A. (2020). The potential of urban agriculture in combination with organic waste valorization: Assessment of resource flows and emissions for two european cities. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118490. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118490>
- White, C., Collier, M. J., & Stout, J. C. (2021). Using ecosystem services to measure the degree to which a solution is nature-based. *Ecosystem Services*, 50, 101330. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2021.101330>
- Whitesides, G. M., & Ismagilov, R. F. (1999). Complexity in Chemistry. *Science*, 284(5411), 89–92. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.284.5411.89>
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2648.2005.03621.X>
- Wielemaker, R., Oenema, O., Zeeman, G., & Weijma, J. (2019). Fertile cities: Nutrient management practices in urban agriculture. *Science of The Total Environment*, 668, 1277–1288. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.02.424>
- Willeit, M., Ganopolski, A., Calov, R., & Brovkin, V. (2019). Mid-Pleistocene transition in glacial cycles explained by declining CO₂ and regolith removal. *Science Advances*, 5(4). https://doi.org/10.1126/SCIADV.AAV7337/SUPPL_FILE/AAV7337_SM.PDF
- Woods, M., Paulus, T., Atkins, D. P., & Macklin, R. (2016). Advancing Qualitative Research Using Qualitative Data Analysis Software (QDAS)? Reviewing Potential Versus Practice in Published Studies using ATLAS.ti and NVivo, 1994–2013. <Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0894439315596311>, 34(5), 597–617. <https://doi.org/10.1177/0894439315596311>
- World Bank. (2018). *What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste to 2050*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- World bank. (2022). *Solid waste management*. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>
- Wright, M., Filatotchev, I., Hoskisson, R. E., & Peng, M. W. (2005). Strategy Research in Emerging Economies: Challenging the Conventional Wisdom*. *Journal of Management Studies*, 42(1), 1–33. <https://doi.org/10.1111/J.1467-6486.2005.00487.X>
- Xavier, L. H., Ottoni, M., & Abreu, L. P. P. (2023). A comprehensive review of urban mining and the value recovery from e-waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106840. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2022.106840>
- Xie, L., Bulkeley, H., & Tozer, L. (2022). Mainstreaming sustainable innovation: unlocking the potential of nature-based solutions for climate change and biodiversity. *Environmental Science & Policy*, 132, 119–130. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2022.02.017>

- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Saravanan, A., Varjani, S., & Ramamurthy, R. (2020). Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy. *Science of The Total Environment*, 748, 141312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141312>
- Yaman, C., Anil, I., & Alagha, O. (2020). Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121432. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121432>
- Yang, L., Wang, X.-C., Dai, M., Chen, B., Qiao, Y., Deng, H., Zhang, D., Zhang, Y., Villas Bôas de Almeida, C. M., Chiu, A. S. F., Klemeš, J. J., & Wang, Y. (2021). Shifting from fossil-based economy to bio-based economy: Status quo, challenges, and prospects. *Energy*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120533>
- Yang, N.-H. N., & Yang, A. (2022). Urban bioeconomy: Uncovering its components, impacts and the Urban Bio-Symbiosis. *Cleaner Production Letters*, 3, 100015. <https://doi.org/10.1016/J.CLPL.2022.100015>
- Yang, Y., Chen, D., Hu, S., & Chen, X. (2020). Estimation and analysis of municipal food waste and resource utilization potential in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40633–40642. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-09989-2/FIGURES/4>
- Yigitcanlar, T., & Dizdaroglu, D. (2015). Ecological approaches in planning for sustainable cities a review of the literature. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 1(2), 159–188. <https://doi.org/10.7508/GJESM.2015.02.008>
- Yukalang, N., Clarke, B., & Ross, K. (2017). Barriers to Effective Municipal Solid Waste Management in a Rapidly Urbanizing Area in Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph14091013>
- Zabaniotou, A. (2018). Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review. *Journal of Cleaner Production*, 177, 197–206. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.172>
- Zago, V. C. P., & Barros, R. T. de V. (2019). Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(2), 219–228. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181376>
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*, 162(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/PPL.12540>
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2020). *World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization*.
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123(1), 321–335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>

- Zhu, Q., Geng, Y., & Lai, K. (2011). Environmental Supply Chain Cooperation and Its Effect on the Circular Economy Practice-Performance Relationship Among Chinese Manufacturers. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 405–419. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00329.x>
- Zihare, L., Kubule, A., Vamza, I., Muizniece, I., & Blumberga, D. (2021). Bioeconomy triple factor nexus through indicator analysis. *New Biotechnology*, 61, 57–68. <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2020.11.008>
- Zolnikov, T. R., da Silva, R. C., Tuesta, A. A., Marques, C. P., & Cruvinel, V. R. N. (2018). Ineffective waste site closures in Brazil: A systematic review on continuing health conditions and occupational hazards of waste collectors. *Waste Management*, 80, 26–39. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.08.047>

APÊNDICES

Tab. A1 - LCS e GCS dos artigos que compõe a rede histórica de citações diretas.

Paper	Título	Author_Keywords	KeywordsPlus	DOI	Year	LCS	GCS
D'AMATO D, 2017, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.053	GREEN, CIRCULAR, BIO ECONOMY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SUSTAINABILITY AVENUES	BIOECONOMY; CIRCULAR ECONOMY; GREEN ECONOMY; SUSTAINABILITY; MACHINE; LEARNING; LATENT DIRICHLET ALLOCATION	BIOECONOMY; COMMUNITIES; TECHNOLOGY; INNOVATION	10.1016/j.jclepro.2017.09.053	2017	64	414
GIAMPIETRO M, 2019, ECOL ECON DOI 10.1016/J.ECOLECON.2019.05.001	ON THE CIRCULAR BIOECONOMY AND DECOUPLING: IMPLICATIONS FOR SUSTAINABLE GROWTH	CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY; SUSTAINABLE GROWTH; DECOUPLING;; SOCIAL-ECOLOGICAL YSTEM; METABOLIC PATTERN; LINEARIZATION; FUND-FLOW; MODEL	FOOD SECURITY; ECONOMY; ENERGY; WATER; EXPECTATIONS; NEXUS; RESOURCE;; COMMON	10.1016/j.ecolecon.2019.05.001	2019	20	99
D'AMATO D, 2020, FOREST POLICY ECON DOI 10.1016/J.FORPOL.2018.12.004	TOWARDS SUSTAINABILITY? FOREST-BASED CIRCULAR BIOECONOMY BUSINESS MODELS IN FINNISH SMES	BIOECONOMY; CIRCULAR ECONOMY; BUSINESS MODEL; SUSTAINABILITY; FOREST; SECTOR	ECONOMY; FUTURE; INNOVATION; FRAMEWORK; ORIGINS; ERA	10.1016/j.forpol.2018.12.004	2020	19	98
LEIPOLD S, 2018, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.019	THE CIRCULAR ECONOMY AND THE BIO-BASED SECTOR - PERSPECTIVES OF EUROPEAN AND GERMAN STAKEHOLDERS	BIOECONOMY; CIRCULARITY; TRANSITION; BUSINESS MODELS; INNOVATION	SUSTAINABILITY; FRAMEWORK; SYSTEM	10.1016/j.jclepro.2018.08.019	2018	17	85
DUQUE-ACEVEDO M, 2020, AGRONOMY-BASEL DOI 10.3390/AGRONOMY10040489	THE MANAGEMENT OF AGRICULTURAL WASTE BIOMASS IN THE FRAMEWORK OF CIRCULAR ECONOMY AND BIOECONOMY: AN OPPORTUNITY FOR GREENHOUSE AGRICULTURE IN SOUTHEAST SPAIN	SUSTAINABLE DEVELOPMENT; BIOMASS; FAMILY BUSINESS; GREENHOUSE CROPS;; CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY	PLANT REMAINS; RESIDUES; CROP; PREDICTION; IMPACT; COMPOSITES; MODELS;; ENERGY; SOIL	10.3390/agronomy10040489	2020	15	44
NAYHAA, 2019, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.260	TRANSITION IN THE FINNISH FOREST-BASED SECTOR: COMPANY PERSPECTIVES ON THE BIOECONOMY, CIRCULAR ECONOMY AND SUSTAINABILITY	FOREST-BASED SECTOR; BIOECONOMY; CIRCULAR ECONOMY; SUSTAINABILITY;; TRANSITION; FINNISH VIEWS	INDUSTRY; SERVICES; EUROPE; GREEN; MODEL	10.1016/j.jclepro.2018.10.260	2019	14	53
HAMELIN L, 2019, RENEW SUST ENERG REV DOI 10.1016/J.RSER.2018.10.017	A SPATIAL APPROACH TO BIOECONOMY: QUANTIFYING THE RESIDUAL BIOMASS POTENTIAL IN THE EU-27	GIS; CROP RESIDUES; CIRCULAR ECONOMY; MANURE; FOOD WASTE; STRAW;; RESIDUAL GRASS	ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES; EUROPE; ENERGY; CARBON; LAND; TARGETS; COST	10.1016/j.rser.2018.10.017	2019	14	79
JARRE M, 2020, FOREST POLICY ECON DOI 10.1016/J.FORPOL.2019.01.017	TRANSFORMING THE BIO-BASED SECTOR TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY - WHAT CAN WE LEARN FROM WOOD CASCADING?	SUSTAINABILITY POLICY; BIOECONOMY; CIRCULARITY; FOREST SECTOR; WOOD; PRODUCTS	LIFE-CYCLE ASSESSMENT; GREENHOUSE-GAS EMISSIONS; RECOVERED WOOD;; BIOMASS; WASTE; LCA; SUSTAINABILITY; POTENTIALS; BIOENERGY; IMPACTS	10.1016/j.forpol.2019.01.017	2020	14	51
ZABANIOTOU A, 2018, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.172	REDESIGNING A BIOENERGY SECTOR IN EU IN THE TRANSITION TO CIRCULAR WASTE-BASED BIOECONOMY-A MULTIDISCIPLINARY REVIEW	BIOENERGY; SUSTAINABILITY; CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY; WASTE-BASED; INDICATORS	LIFE-CYCLE ASSESSMENT; SUPPLY CHAIN; SOCIAL ACCEPTANCE; LOGISTICS; ISSUES; SUSTAINABILITY; BIOMASS; ENERGY; ECONOMY; GASIFICATION;; BIOREFINERY	10.1016/j.jclepro.2017.12.172	2018	12	70
INGRAO C, 2018, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.09.068	THE POTENTIAL ROLES OF BIO-ECONOMY IN THE TRANSITION TO EQUITABLE, SUSTAINABLE, POST FOSSIL-CARBON SOCIETIES: FINDINGS FROM THIS VIRTUAL SPECIAL ISSUE	AGRICULTURE; FORESTRY; BIOMASS; BIOENERGY; BIO-ECONOMY; COMPREHENSIVE; REVIEW	LIFE-CYCLE ASSESSMENT; GREENHOUSE-GAS EMISSIONS; ENVIRONMENTAL IMPACTS;; CIRCULAR ECONOMY; CLEANER PRODUCTION; CASCADE USE; ENERGY; BIOMASS;; BIOECONOMY; SYSTEM	10.1016/j.jclepro.2018.09.068	2018	12	68
D'AMATO D, 2019, ECOL ECON DOI 10.1016/J.ECOLECON.2018.12.026	CIRCULAR, GREEN, AND BIO ECONOMY: HOW DO COMPANIES IN LAND-USE INTENSIVE SECTORS ALIGN WITH SUSTAINABILITY CONCEPTS?	CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY; GREEN ECONOMY; SUSTAINABILITY; CORPORATE; SUSTAINABILITY; CORPORATE REPORTING	CORPORATE SOCIAL-RESPONSIBILITY; ECOSYSTEM SERVICES; BIOECONOMY;; BIODIVERSITY; MANAGEMENT; EVOLUTION; BUSINESS; BOUNDARY; LINE	10.1016/j.ecolecon.2018.12.026	2019	11	66
AWASTHI MK, 2019, RENEW SUST ENERG REV DOI 10.1016/J.RSER.2019.05.017	A CRITICAL REVIEW OF ORGANIC MANURE BIOREFINERY MODELS TOWARD SUSTAINABLE CIRCULAR BIOECONOMY: TECHNOLOGICAL CHALLENGES, ADVANCEMENTS, INNOVATIONS, AND FUTURE PERSPECTIVES	ANAEROBIC DIGESTION; ORGANIC MANURE; PRETREATMENT; CODIGESTION; ORGANIC;; LOADING RATE; BIOAUGMENTATION	ANAEROBIC CO-DIGESTION; MUNICIPAL SOLID-WASTE; GREENHOUSE-GAS EMISSIONS;; BIOGAS PRODUCTION; DAIRY MANURE; CHICKEN MANURE; CATTLE MANURE; SWINE; MANURE; ANIMAL MANURE; HYDROTHERMAL LIQUEFACTION	10.1016/j.rser.2019.05.017	2019	11	112
DONNER M, 2020, SCI TOTAL ENVIRON DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2020.137065	A NEW CIRCULAR BUSINESS MODEL TYPOLOGY FOR CREATING VALUE FROM AGRO-WASTE	CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY; BUSINESS MODELS; AGO-WASTE VALORISATION;; NETWORKS	BY-PRODUCTS; INNOVATION; ECONOMY; OPPORTUNITIES; VALORIZATION;; FRAMEWORK; STRATEGY	10.1016/j.scitotenv.2020.137065	2020	11	77
SALVADOR R, 2021, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2020.124341	KEY ASPECTS FOR DESIGNING BUSINESS MODELS FOR A CIRCULAR BIOECONOMY	CIRCULAR ECONOMY; CIRCULAR BUSINESS MODEL; BIORESOURCE; ADDED VALUE;; VALORISATION	SUSTAINABLE BIOECONOMY; WASTE BIOREFINERY; FUTURE; BIOMASS; FOOD;; IMPLEMENTATION; VALORISATION; PERSPECTIVES; INNOVATION; BIOENERGY	10.1016/j.jclepro.2020.124341	2021	11	38
TEIGISEROVA DA, 2020, SCI TOTAL ENVIRON DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2019.136033	TOWARDS TRANSPARENT VALORIZATION OF FOOD SURPLUS, WASTE AND LOSS: CLARIFYING DEFINITIONS, FOOD WASTE HIERARCHY, AND ROLE IN THE CIRCULAR ECONOMY	BIOREFINERY; CIRCULAR BIOECONOMY; FOOD WASTE; MINIMIZATION OF RESIDUES;; POLICY; STRONG SUSTAINABILITY	INDUSTRIAL ECOLOGY; QUANTIFICATION; SUSTAINABILITY; OPPORTUNITIES;; MINIMIZATION; CHALLENGES; MANAGEMENT; FERTILIZER; CONSUMER; RECOVERY	10.1016/j.scitotenv.2019.136033	2020	10	117
SADHUKHAN J, 2018, RENEW SUST ENERG REV DOI 10.1016/J.RSER.2017.06.007	ROLE OF BIOENERGY, BIOREFINERY AND BIOECONOMY IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT: STRATEGIC PATHWAYS FOR MALAYSIA	LIGNOCELLULOSIC BIOREFINERY; RESOURCE RECOVERY FROM WASTE (RRFW); CIRCULAR ECONOMY; CLIMATE CHANGE MITIGATION; ADAPTATION AND RESILIENCE; MALAYSIA DEVELOPMENT PLAN; SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	PALM OIL MILL; OSCILLATORY BAFFLED REACTORS; RENEWABLE ENERGY POLICIES; SAGO-BASED BIOREFINERY; FEED-IN TARIFF; BIODIESEL PRODUCTION; HYDROGEN-PRODUCTION; FUZZY OPTIMIZATION; BIO-OIL; TECHNOECONOMIC; EVALUATIONS	10.1016/j.rser.2017.06.007	2018	9	77
ZABANIOTOU A, 2019, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.230	FOOD WASTE VALORIZATION ADVOCATING CIRCULAR BIOECONOMY - A CRITICAL REVIEW OF POTENTIALITIES AND PERSPECTIVES OF SPENT COFFEE GROUNDS BIOREFINERY	SPENT COFFEE GROUND; FOOD WASTE; CASCADE BIOREFINERY; SUSTAINABILITY; CIRCULAR ECONOMY; BIOECONOMY	SUSTAINABLE BIOECONOMY; BIODIESEL PRODUCTION; BIO-OIL; EXTRACTION;; PYROLYSIS; RECOVERY; POLYSACCHARIDES; OPTIMIZATION; ANTIOXIDANTS;; RESIDUES	10.1016/j.jclepro.2018.11.230	2019	9	79
DUQUE-ACEVEDO M, 2020, GLOB ECOL CONSERV DOI 10.1016/J.GECCO.2020.E00902	AGRICULTURAL WASTE: REVIEW OF THE EVOLUTION, APPROACHES AND PERSPECTIVES ON ALTERNATIVE USES	AGRICULTURE WASTE; CIRCULAR ECONOMY; SUSTAINABLE DEVELOPMENT OBJECTIVES;; TECHNOLOGICAL NUTRIENTS IN AGRICULTURE; AGRARIAN ENVIRONMENTAL; TECHNOLOGIES; TRANSITION TO CIRCULAR ECONOMY	CROP RESIDUES; BIOECONOMY; MINERALIZATION; SUSTAINABILITY; QUALITY;; MANURES; SCIENCE; IMPACT	10.1016/j.gecco.2020.e00902	2020	9	133
LEONG HY, 2021, BIOTECHNOL BIOFUELS DOI 10.1186/S13068-021-01939-5	WASTE BIOREFINERY TOWARDS A SUSTAINABLE CIRCULAR BIOECONOMY: A SOLUTION TO GLOBAL ISSUES	BIO-LIPIDS; BIOPOLYMERS; CIRCULAR BIOECONOMY; WASTE BIOREFINERY;; WASTEWATER BIOREMEDIATION	MICROALGAE CHLORELLA-VULGARIS; VOLATILE FATTY-ACIDS; BACTERIAL; CELLULOSE; LIPID PRODUCTION; WATER TREATMENT; OLEAGINOUS YEAST; POLYHYDROXYALKANOATES PHAS; DOCOSAHEXAENOIC ACID; INDUSTRIAL-WASTE;; ACETIC-ACID	10.1186/s13068-021-01939-5	2021	9	76
JAIN A, 2022, FUEL DOI 10.1016/J.FUEL.2021.121859	BIOENERGY AND BIO-PRODUCTS FROM BIO-WASTE AND ITS ASSOCIATED MODERN CIRCULAR ECONOMY: CURRENT RESEARCH TRENDS, CHALLENGES, AND FUTURE OUTLOOKS	MODERN CIRCULAR ECONOMY; BIOWASTE; BIOPRODUCTS AND BIOENERGY;; SUSTAINABLE MODELS; CHALLENGES; LIGNOCELLULOSE	LIFE-CYCLE ASSESSMENT; MUNICIPAL SOLID-WASTE; BIOWASTE-TO-BIOMETHANE;; ANAEROBIC-DIGESTION; ORGANIC WASTE; ENVIRONMENTAL ASSESSMENT; STATE; FERMENTATION; MANAGEMENT-SYSTEMS; CO-DIGESTION; ENERGY	10.1016/j.fuel.2021.121859	2022	9	54

LIOBIKIENE G, 2019, SUSTAIN DEV DOI 10.1002/SD.1984	EVALUATION OF BIOECONOMY IN THE CONTEXT OF STRONG SUSTAINABILITY	BIOECONOMY; BIOECONOMY INDICATORS; BIOTECHNOLOGIES; ECOLOGICAL; FOOTPRINT; SUSTAINABILITY; SUSTAINABLE USE OF BIOMASS	BIO-BASED ECONOMY; CIRCULAR ECONOMY; LAND FOOTPRINT; GREEN ECONOMY; BIOENERGY; CARBON; TRANSITION; BIOMASS; ENERGY; POLICIES	10.1002/sd.1984	2019	8	44
HUSGAFVEL R, 2018, J CLEAN PROD DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.178	FOREST SECTOR CIRCULAR ECONOMY DEVELOPMENT IN FINLAND: A REGIONAL STUDY ON SUSTAINABILITY DRIVEN COMPETITIVE ADVANTAGE AND AN ASSESSMENT OF THE POTENTIAL FOR CASCADING RECOVERED SOLID WOOD	FOREST SECTOR; CIRCULAR ECONOMY; SUSTAINABILITY; COMPETITIVE ADVANTAGE;; CASCADING; RECOVERED WOOD	DEMOLITION WASTE MANAGEMENT; LIFE-CYCLE ASSESSMENT; BUILDINGS;; CONSTRUCTION; SWITZERLAND; BUSINESS; SYSTEMS; ENERGY; LCA	10.1016/j.jclepro.2017.12.178	2018	7	41
HILDEBRANDT J, 2019, J IND ECOL DOI 10.1111/JIEC.12818	REVEALING THE ENVIRONMENTAL ADVANTAGES OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS IN WOOD-BASED BIOECONOMY NETWORKS: AN ASSESSMENT FROM A LIFE CYCLE PERSPECTIVE	INDUSTRIAL ECOLOGY; INDUSTRIAL SYMBIOSIS; INTEGRATED INDUSTRIAL; PRODUCTION NETWORKS; LIFE CYCLE ASSESSMENT; LIGNOCELLULOSIC; BIOREFINERIES; WOOD-BASED BIOECONOMY	CIRCULAR ECONOMY; BIOPOLYMERS; BENEFITS	10.1111/jiec.12818	2019	7	30
BUCHMANN-DUCK J, 2020, SCI TOTAL ENVIRON DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2020.138602	AN URGENT CALL FOR CIRCULAR ECONOMY ADVOCATES TO ACKNOWLEDGE ITS LIMITATIONS IN CONSERVING BIODIVERSITY	CIRCULAR ECONOMY; BIODIVERSITY; ECOSYSTEM SERVICES; NATURAL CAPITAL;; BIOMIMICRY; BIOECONOMY; RENEWABLE ENERGY	ECOSYSTEM SERVICES; RENEWABLE ENERGY; CARBON STORAGE; CONSERVATION;; FOOTPRINT; BIOENERGY; POLICIES; LOSSES; LINE	10.1016/j.scitotenv.2020.138602	2020	7	29
LADU L, 2020, FOREST POLICY ECON DOI 10.1016/J.FORPOL.2019.05.023	THE ROLE OF THE POLICY MIX IN THE TRANSITION TOWARD A CIRCULAR FOREST BIOECONOMY	FOREST BIOECONOMY; CIRCULAR ECONOMY; POLICY MIX; FUZZY COGNITIVE; MAPPING; SUSTAINABILITY TRANSITIONS	CREATIVE DESTRUCTION; ENERGY TRANSITIONS; INNOVATION; STRATEGIES;; INDUSTRY; CLIMATE; FUTURE; TECHNOLOGIES; INSTRUMENTS; PERCEPTIONS	10.1016/j.forpol.2019.05.023	2020	7	30
BARROS MV, 2020, RENEW SUST ENERG REV DOI 10.1016/J.RSER.2020.109958	MAPPING OF RESEARCH LINES ON CIRCULAR ECONOMY PRACTICES IN AGRICULTURE: FROM WASTE TO ENERGY	BIOENERGY; SUSTAINABLE DEVELOPMENT; AGRICULTURAL WASTE; AGRIFOOD;; BIOECONOMY; SDG	LIFE-CYCLE ASSESSMENT; INDUSTRIAL SYMBIOSIS; FOOD WASTE;; ANAEROBIC-DIGESTION; BIOREFINERY MODELS; ANIMAL PRODUCTION; BY-PRODUCTS;; BIOGAS; MANAGEMENT; ECOLOGY	10.1016/j.rser.2020.109958	2020	7	73
LAIBACH N, 2019, TECHNOL SOC DOI 10.1016/J.TECHSOC.2019.03.001	EXPLORING THE FUTURE OF THE BIOECONOMY: AN EXPERT-BASED SCOPING STUDY EXAMINING KEY ENABLING TECHNOLOGY FIELDS WITH POTENTIAL TO FOSTER THE TRANSITION TOWARD A BIO-BASED ECONOMY	BIOECONOMY; BIO-BASED; KEY ENABLING TECHNOLOGIES; EXPERT SURVEY	CIRCULAR ECONOMY; INNOVATION; BIOTECHNOLOGY; POLICY; STRATEGIES;; MANAGEMENT; LANDSCAPE; CLUSTERS; BIOFUEL; BIOMASS	10.1016/j.techsoc.2019.03.001	2019	6	31

Tab. A2 - Principais autores para o campo de estudo.

Authors	Articles	Articles Fractionalized
D'ADAMO I	9	3.20
THOMSEN M	8	2.27
BEZAMAA	7	1.79
CAMACHO-FERRE F	7	1.82
D'AMATO D	7	2.19
DUQUE-ACEVEDO M	7	1.82
THRAEN D	7	1.90
BELMONTE-URENA LJ	6	1.45
HAMELIN L	6	1.70
MOHAN SV	6	2.23
AWASTHI MK	5	0.44
DONNER M	5	1.38
HILDEBRANDT J	5	1.38
TEIGISEROVA DA	5	1.45
TOPPINEN A	5	1.38
ZABANIOTOU A	5	2.59
CHEN WH	4	0.90
DROSTE N	4	0.82
FALCONE PM	4	1.17
HOLDEN NM	4	0.93
KORHONEN J	4	1.28
MAROUSEK J	4	1.58
PALETTO A	4	0.92
PANDEY A	4	0.34
ULGIATI S	4	0.90

Tab. A3 - 25 Principais afiliações em publicações para o campo de estudo.

Affiliation	Articles
UNIV ALMERIA	52
AARHUS UNIV	24
ARISTOTLE UNIV THESSALONIKI	20
UFZ HELMHOLTZ CTR ENVIRONM RES	15
UNIV COLL DUBLIN	15
UNIV HELSINKI	15
UNIV MONTPELLIER	14
SAPIENZA UNIV ROME	13
UNIV BONN	13
BABES BOLYAI UNIV	12
WAGENINGEN UNIV AND RES	12
FED UNIV TOULOUSE	11
NORTHWEST AANDF UNIV	11
UNIV NACL COLOMBIA	11
UNIV SURREY	11
UNIV QUEENSLAND	10
UNIV TEKNOLOG PETRONAS	10
AGR UNIV ATHENS	9
INST TECHNOLOG AND BUSINESS CESKE BUDEJOVICE	9
NATL CHENG KUNG UNIV	9
SAO PAULO STATE UNIV UNESP	9
TECH UNIV BERLIN	9
TUNGSHAI UNIV	9
UNIV FED PERNAMBUCO	9
UNIV SOUTH BOHEMIA CESKE BUDEJOVICE	9

Tab. A4 - Dinâmica das palavras chaves dos autores por ano.

Year	SUSTAINABILITY	BIOREFINERY	BIOMASS	BIOENERGY	CIRCULAR	FOOD WASTE	ECONOMY	SUSTAINABLE DEVELOPMENT	ANAEROBIC DIGESTION	GREEN ECONOMY	RECYCLING	WASTE	WASTE MANAGEMENT	BIOFUELS	BIOGAS	LIFE CYCLE ASSESSMENT	BIOTECHNOLOGY	AGRICULTURE	BIO-BASED	BUSINESS MODELS
2015	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0
2017	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
2018	5	4	6	4	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	2	1
2019	12	1	0	2	0	2	0	1	1	3	0	1	0	1	1	1	2	0	1	1
2020	12	9	8	4	5	5	4	5	2	2	1	3	0	1	2	3	3	2	1	1
2021	19	9	9	7	9	6	7	4	5	5	4	2	4	3	4	2	3	2	2	2
2022	23	17	9	6	7	7	6	7	6	1	8	5	5	4	3	3	2	4	2	3
2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. A5 - Produção dos autores ao longo do tempo.

Author	year	freq	TC	TCpy
D'ADAMO I	2019	1	16	3.200
D'ADAMO I	2020	1	23	5.750
D'ADAMO I	2021	2	54	18.000
D'ADAMO I	2022	4	53	26.500
D'ADAMO I	2023	1	0	0.000
THOMSEN M	2016	2	129	16.125
THOMSEN M	2019	1	71	14.200
THOMSEN M	2020	1	117	29.250
THOMSEN M	2021	3	42	14.000
THOMSEN M	2022	1	1	0.500
BEZAMA A	2017	1	20	2.857
BEZAMA A	2018	1	68	11.333
BEZAMA A	2019	2	49	9.800
BEZAMA A	2020	2	30	7.500
BEZAMA A	2021	1	3	1.000
D'AMATO D	2017	1	414	59.143
D'AMATO D	2019	2	108	21.600
D'AMATO D	2020	3	129	32.250
D'AMATO D	2021	1	49	16.333
THRAEN D	2017	1	20	2.857
THRAEN D	2019	2	49	9.800
THRAEN D	2020	2	30	7.500
THRAEN D	2021	1	3	1.000
THRAEN D	2022	1	0	0.000
BELMONTE-URENA LJ	2020	3	203	50.750
BELMONTE-URENA LJ	2021	2	20	6.667
BELMONTE-URENA LJ	2022	1	1	0.500
CAMACHO-FERRE F	2020	4	215	53.750
CAMACHO-FERRE F	2022	2	2	1.000
DUQUE-ACEVEDO M	2020	4	215	53.750
DUQUE-ACEVEDO M	2022	2	2	1.000
HAMELIN L	2019	2	150	30.000
HAMELIN L	2020	1	117	29.250
HAMELIN L	2021	2	29	9.667
HAMELIN L	2022	1	1	0.500
MOHAN SV	2016	1	421	52.625
MOHAN SV	2018	1	0	0.000
MOHAN SV	2020	1	20	5.000
MOHAN SV	2021	1	10	3.333
MOHAN SV	2022	2	5	2.500

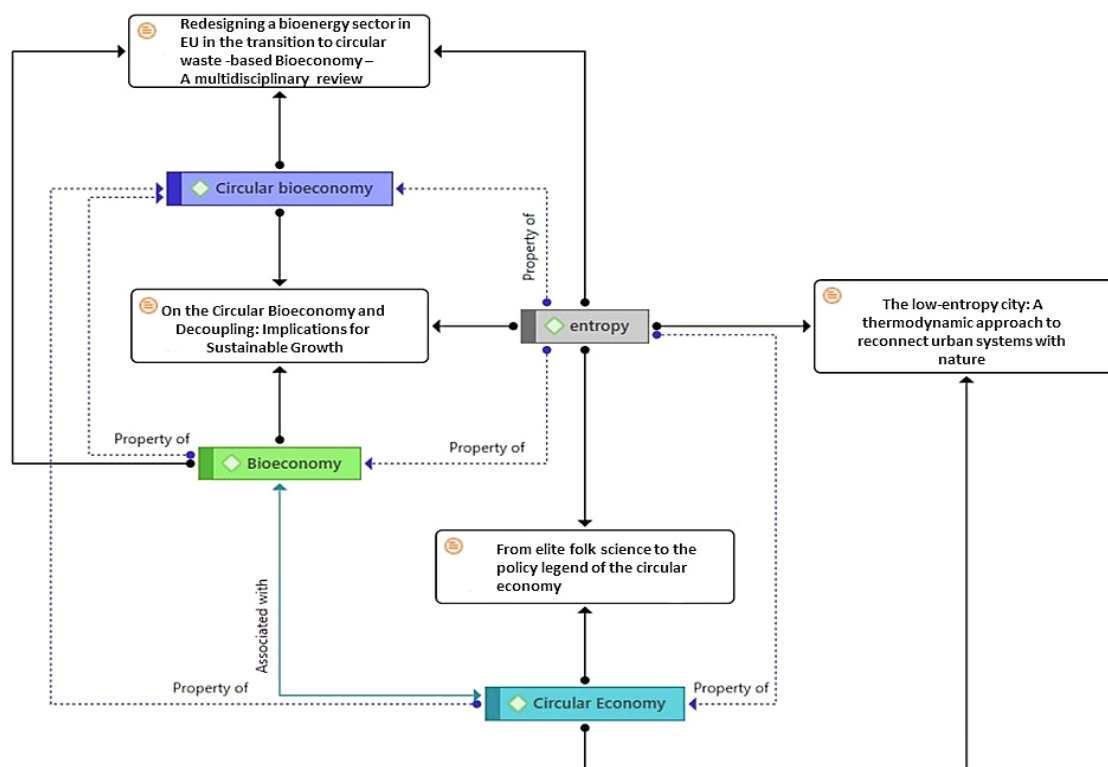
Tab. B1 - Os 79 Artigos que compõe a amostra da revisão integrativa de literatura.

Paper heading	Reference
Biorefinery: A comprehensive concept for the sociotechnical transition toward bioeconomy	(Conteratto et al., 2021)
The ‘bioeconomics vs bioeconomy’ debate: Beyond criticism, advancing research fronts	(Allain et al., 2022)
The low-entropy city: A thermodynamic approach to reconnect urban systems with nature	(Pelorosso et al., 2017)
Analyses of urban ecosystem based on information entropy	(Zhang et al., 2006)
The Influence of Local Governance: Effects on the Sustainability of Bioenergy Innovation	(Cavicchi et al., 2017)
Socio-economic impacts of a local bioenergy-based development strategy – The case of Pielinen Karelia, Finland	(Lehtonen & Okkonen, 2016)
Serbian Organic Food Consumer Research and Bioeconomy Development	(Grubor et al., 2018)
Place leadership and the challenge of transformation: policy platforms and innovation ecosystems in promotion of green growth	(Sotarauta & Suvinen, 2019)
A critical review: emerging bioeconomy and waste-to-energy technologies for sustainable municipal solid waste management	(Tsui & Wong, 2019)
Green Innovation Areas—En Route to Sustainability for Shrinking Cities?	(Pallagst et al., 2019)
Governing the circular economy: Assessing the capacity to implement resource-oriented sanitation and waste management systems in low- and middle-income countries	(Ddiba et al., 2020)
The role of biorefining research in the development of a modern bioeconomy	(Manzanares, 2020)
Recoding of an industrial town: bioeconomy hype as a cure from decline?	(Albrecht & Kortelainen, 2020)
Sustainable development and sharing economy: A bibliometric analysis	(Pu et al., 2021)
Smart and Sustainable Bioeconomy Platform: A New Approach towards Sustainability	(D’Amico et al., 2022)
Socio-Economic and Environmental Impacts of Biomass Valorisation: A Strategic Drive for Sustainable Bioeconomy	(Ahmed et al., 2021)
The Role of Bioeconomy in the Future Energy Scenario: A State-of-the-Art Review	(Perišić et al., 2022)
Valorizing municipal organic waste to produce biodiesel, biogas, organic fertilizer, and valueadded chemicals: an integrated biorefinery approach	(de Sousa et al., 2022)
Municipal solid waste management: Dynamics, risk assessment, ecological influence, advancements, constraints and perspectives	(Vyas et al., 2022)
Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China	(Duan et al., 2020)
Waste-to-wealth: The economic reasons for replacing waste-to-energy with the circular economy of municipal solid waste	(Pagliaro, 2020)
Using fuzzy cognitive maps to identify better policy strategies to valorize organic waste flows: An Italian case study	(Morone et al., 2021)
Circular Economy Applied to Organic Residues and Wastewater: Research Challenges	(Bakan et al., 2022)
Circular bioeconomy and environmental benignness through microbial recycling of e-waste: A case study on copper and gold restoration	(Ilyas et al., 2021)
Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments	(Chia et al., 2020)
Sustainable utilization of food waste for bioenergy production	(Mohanty et al., 2022)
Bioconnections as Enablers of Regenerative Circularity for the Built Environment	(Benites & Osmond, 2021)

How national bioeconomy strategies address governance challenges arising from forestrelated trade-offs	(Schulz et al., 2022)
The contribution of bio-economic assessments to better informed land-use decision making: An overview	(Castro & Lechthaler, 2022)
Thinking green, circular or bio: Eliciting researchers' perspectives on a sustainable economy with Q method	(D'Amato et al., 2019)
Biosecurity and sustainability within the growing global bioeconomy	(Sheppard et al., 2011)
Reviewing the dynamics of economic values and preferences for ecosystem goods and services	(Skourtos et al., 2010)
A systems perspective on chemical production from mixed food waste: The case of biosuccinate in Sweden	(Rex et al., 2017)
Significance of implementing decentralized biogas solutions in India: a viable pathway for biobased economy	(Begum et al., 2018)
The Bioeconomy in economic literature: looking back, looking ahead	(Viaggi et al., 2021)
A consumer-driven bioeconomy in housing? Combining consumption style with students' perceptions of the use of wood in multi-storey buildings	(Kylkilahti et al., 2020)
Regional policy mobilities: Shaping and reshaping bioeconomy policies in Värmland and Västerbotten, Sweden	(Andersson & Grundel, 2021)
Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe—A vision how to mobilize marginal lands	(Schröder et al., 2018)
Advanced biotechnology in biorefinery: a new insight into municipal waste management to the production of high-value products	(Haddadi et al., 2017)
Analysing stakeholders' perspectives towards a socio-technical change: The energy transition journey in Gela Municipality	(Falcone, 2018)
Economic Gain vs. Ecological Pain—Environmental Sustainability in Economies Based on Renewable Biological Resources	(Pedersen et al., 2020)
Bioeconomic transition?: Projecting consumption-based biomass and fossil material flows to 2050	(Asada et al., 2020)
Developing biogas systems in Norrköping, Sweden: An industrial symbiosis intervention	(Lindfors et al., 2020)
Significance and Vision of Nutrient Recovery for Sustainable City Food Systems in Germany by 2050	(Keuter et al., 2021)
Assessment of biowaste losses through unsound waste management practices in rural areas and the role of home composting	(Mihai & Ingrao, 2018)
A method and databases for estimating detailed industrial waste generation at different scales – With application to biogas industry development	(Patricio et al., 2020)
Where to implement local biotech innovations? A framework for multi-scale socio-economic and environmental impact assessment of Green Bio-Refineries	(Cong et al., 2017)
Biogas in the transport sector—actor and policy analysis focusing on the demand side in the Stockholm region	(Ammenberg et al., 2018)
Environmental life cycle assessment of different biorefinery platforms valorizing municipal solid waste to bioenergy, microbial protein, lactic and succinic acid	(Khoshnevisan et al., 2020)
The impact and challenges of sustainable biogas implementation: moving towards a biobased economy	(Muvhiiwa et al., 2017)
Challenges and opportunities for more efficient water use and circular wastewater management. The case of Campania Region, Italy	(Colella et al., 2021)
Cooperative Management of Ecosystem Services: Coalition Formation, Landscape Structure and policies	(Bareille et al., 2021)
Managing soil functions for a sustainable bioeconomy-Assessment framework and state of the art	(Helming et al., 2018)
Urban Trees and Water Use in Arid Climates: Insights from an Integrated Bioeconomic-Health Model	(Jones & Fleck, 2018)

Soil governance in the transition towards a sustainable bioeconomy – A review	(Juerges & Hansjürgens, 2018)
An urgent call for circular economy advocates to acknowledge its limitations in conserving biodiversity	(Buchmann-Duck & Beazley, 2020)
Bioeconomy and green recovery in a post-COVID-19 era	(Galanakis et al., 2022)
Land availability in Europe for a radical shift toward bio-based construction	(Göswein et al., 2021)
End-of-waste life: Inventory of alternative end-of-use recirculation routes of bio-based plastics in the European Union context	(Briassoulis et al., 2019)
From trash to treasure: The impact of consumer perception of bio-waste products in closedloop supply chains	(Russo et al., 2019)
From elite folk science to the policy legend of the circular economy	(Giampietro & Funtowicz, 2020)
A thermoeconomic indicator for the sustainable development with social considerations: A thermoeconomy for sustainable society	(Lucia et al., 2022)
Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy	(Yaashikaa et al., 2020)
Urban biocycles – Closing metabolic loops for resilient and regenerative ecosystem: A perspective	(Venkata Mohan et al., 2020)
Review of ecosystem services in a bio-based circular economy and governance mechanisms	(Cong & Thomsen, 2021)
Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review	(Zabaniotou, 2018)
Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy	(Muscat et al., 2021)
Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research	(D'Amato et al., 2020)
Tools for promoting industrial symbiosis: A systematic review	(Yeo et al., 2019)
On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth	(Giampietro, 2019)
The urban bioeconomy: extracting value from the ecological and biophysical	(Taylor Buck & While, 2021)
Friends or foes? A compatibility assessment of bioeconomy-related Sustainable Development Goals for European policy coherence	(Ronzon & Sanjuán, 2020)
Integrating Circular Bioeconomy and Urban Dynamics to Define an Innovative Management of Bio-Waste: The Study Case of Turin	(Taffuri et al., 2021)
A Real-World Scenario of Citizens' Motivation and Engagement in Urban Waste Management Through a Mobile Application and Smart City Technology	(Neofotistos et al., 2022)
Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review	(Chavan et al., 2022)
Municipal solid waste management: Dynamics, risk assessment, ecological influence, advancements, constraints and perspectives	(Vyas et al., 2022)
Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective	(Ashokkumar et al., 2022)
How to advance regional circular bioeconomy systems? Identifying barriers, challenges, drivers, and opportunities	(Salvador et al., 2022)
Management of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in the Context of a Sustainable and Circular Model: Analysis of Trends in Latin America and the Caribbean	(Ulloa-Murillo et al., 2022)

Fig. B1 - Diagrama de redes entre os códigos "Circular bioeconomy" e "entropy".



*as boxes em laranja dizem respeito ao título dos documentos utilizados na análise

Fig. B2 - Diagrama de redes entre os códigos "urban ecosystem" e "entropy".

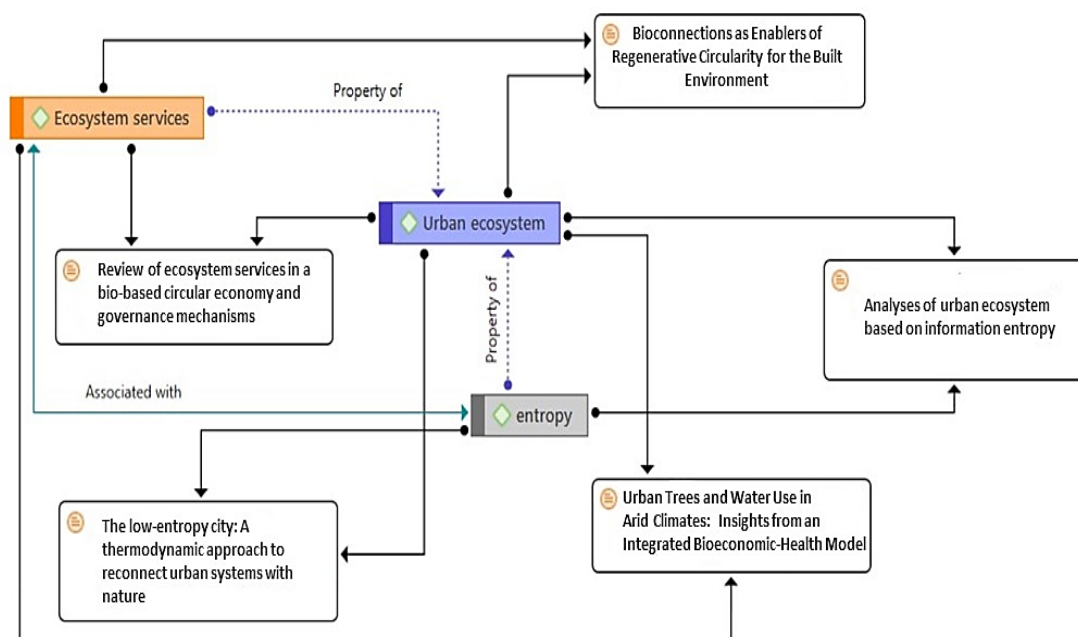
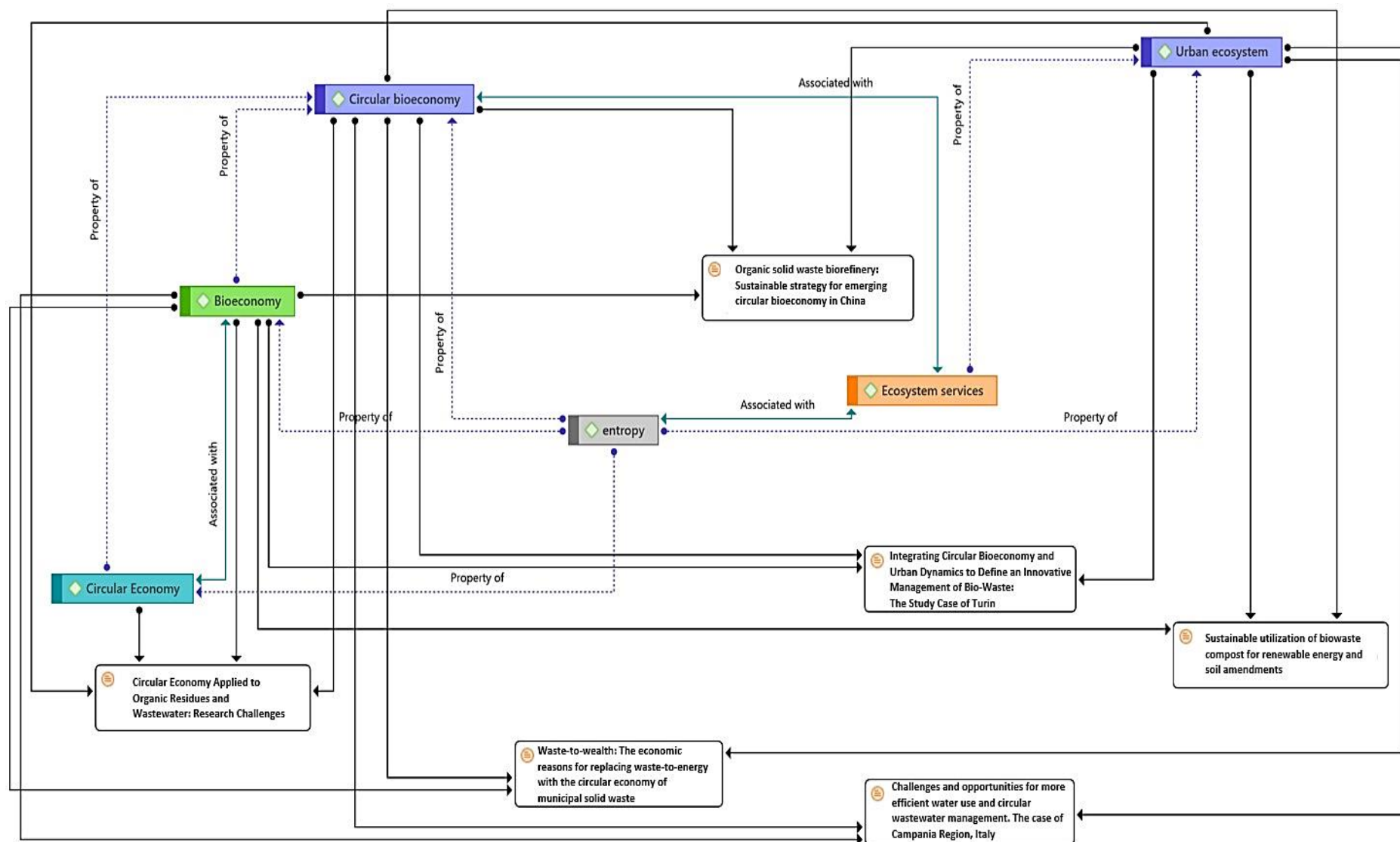


Fig. B3 - Diagrama de rede entre os códigos "Circular bioeconomy" e "urban ecosystem"



Tab. C1 - Os 34 Artigos que compõe a amostra da revisão sistemática para construção do *Framework teórico*.

Paper heading	References
Destination bioeconomy – The path towards a smarter, more sustainable future	(Dupont-Inglis & Borg, 2018)
Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation	(Lainez et al., 2018);
Bridging the Gaps for a 'Circular' Bioeconomy: Selection Criteria, Bio-Based Value Chain and Stakeholder Mapping	(Lokesh et al., 2018)
Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review	(Zabaniotou, 2018)
Resources, collaborators and neighbors: the challenge on three fronts in implementing bioeconomy regions	(Bezama et al., 2019)
Evaluation of bioeconomy in the context of strong sustainability	(Liobikiene et al., 2019)
Characteristics of bioeconomy systems and sustainability issues at the territorial scale. A review	(Wohlfahrt et al., 2019)
Innovation types in the bioeconomy	(Bröring et al., 2020)
Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research	(D'Amato et al., 2020)
A new circular business model typology for creating value from agro-waste	(Donner et al., 2020)
Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China	(Duan et al., 2020)
Linking Bioeconomy to Redevelopment in Contaminated Sites: Potentials and Enabling Factors	(Francocci et al., 2020)
Studying the transition towards a circular bioeconomy—a systematic literature review on transition studies and existing barriers	(Gottinger et al., 2020)
Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading	(Jarre et al., 2020)
Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations, and opportunities	(Mak et al., 2020)
Friends or foes? A compatibility assessment of bioeconomy-related Sustainable Development Goals for European policy coherence	(Ronzon & Sanjuán, 2020)
Limits to circular bioeconomy in the transition towards decentralized biowaste management systems	(Angouria-Tsorochidou et al., 2021)
Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy?	(Calicioglu & Bogdanski, 2021)
Review of ecosystem services in a bio-based circular economy and governance mechanisms	(Cong & Thomsen, 2021)
An interdisciplinary framework to define strategies for digitalization and sustainability: Proposal of a 'digicircular' model	(De Felice & Petrillo, 2021)
Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products	(Donner et al., 2021)
The bioeconomy in Italy and the new national strategy for a more competitive and sustainable country	(Fava et al., 2021)
Full speed ahead or floating around? Dynamics of selected circular bioeconomies in Europe	(Kardung & Drabik, 2021)
Development of the circular bioeconomy: Drivers and indicators	(Kardung et al., 2021)
Holistic approach in the evaluation of the sustainability of bio-based products: An Integrated Assessment Tool	(Ladu & Morone, 2021)
Using fuzzy cognitive maps to identify better policy strategies to valorize organic waste flows: An Italian case study	(Morone et al., 2021)

Principles, drivers, and opportunities of a circular bioeconomy	(Muscat et al., 2021)
Circular economy monitoring – How to make it apt for biological cycles?	(Navare et al., 2021)
Tying Up Loose Ends. Integrating Consumers' Psychology into a Broad Interdisciplinary Perspective on a Circular Sustainable Bioeconomy	(Otto et al., 2021)
Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy	(Salvador et al., 2021)
Life cycle assessment (LCA): Informing the development of a sustainable circular bioeconomy?	(Seigné-Itoiz et al., 2021)
Symbiotic integration of bioprocesses to design a self-sustainable life supporting ecosystem in a circular economy framework	(Sreeharsha & Venkata Mohan, 2021)
Shifting from fossil-based economy to bio-based economy: Status quo, challenges, and prospects	(Yang et al., 2021)
Bioeconomy triple factor nexus through indicator analysis	(Zihare et al., 2021)

Fig. D1 – Carta-convite processo de elicitação utilizando método Delphi

Prezado(a) participante,

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário(a) para uma pesquisa científica à nível de Doutorado. Temos por objetivo **obter a avaliação da viabilidade do uso de critérios (indicadores) na composição de um novo índice** que se adeque como instrumento de apoio à tomada de decisão no desenvolvimento da Bioeconomia Circular ([link para detalhes](#)). Mais especificamente, **com foco na recuperação dos biorresíduos urbanos**.

Para tal, a seguinte questão de pesquisa foi adotada - **Para melhorar a gestão dos biorresíduos no cenário nacional urbano, sob uma perspectiva do desenvolvimento sustentável, qual é a contribuição do seguinte critério?**

Para o processo de aquisição de conhecimento entre os participantes, utilizamos o **Método Delphi (Web-Delphi)**. O Delphi tem como características principais: (i) **anonimato das respostas**, (ii) **iteração que permite que os participantes revisem suas opiniões**, (iii) **feedback controlado** e (iv) **agregação estatística**. O processo Delphi se desenvolve por meio de rodadas de perguntas semiestruturadas nas quais as perspectivas dos participantes são coletadas por meio de respostas individuais. Um resumo das respostas é sintetizado e repassado por meio de um feedback, é possível considerar opiniões diferentes ao criar conhecimento de julgamento compartilhado e mudar de opinião nas rodadas subsequentes. A presente pesquisa, foi estipulada em **três rodadas de perguntas**. Com base nas respostas dessa primeira rodada, os dados serão analisados de forma imparcial e um feedback será apresentado junto a uma segunda e terceira rodada de perguntas respectivamente com o intuito de aumentar os pontos convergentes e diminuir os divergentes.

As respostas para cada uma das questões foram apresentadas por meio de uma escala qualitativa de 7 níveis: **Não Contribui, Contribuição muito baixa, Contribuição baixa, Contribuição moderada, Contribuição Alta, Contribuição muito alta e Contribuição Extrema**.

* No campo de resposta **"Observação"**, existe a possibilidade de incluir comentários ou propor indicadores adicionais considerados ausentes.

A pesquisa, em média tem duração de **25 minutos**. Ressaltamos que o estudo é de cunho estritamente científico e reforçamos que as informações coletadas são confidenciais e não serão divulgados para terceiros. Caso decida desistir da pesquisa você poderá interromper o questionário e sair do estudo a qualquer momento, sem nenhuma restrição.

Caso tenha alguma dúvida/sugestão poderá entrar em contato com:



Luis Alberto Bertolucci Paes Contato: luis.paes@unesp.br ou (14) 98113-5044

* O Termo De Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi redigido em conformidade com a [Resolução CNS 466/2012](#). O pesquisador garante e se compromete com o sigilo e a confidencialidade de todas as informações fornecidas por você para este estudo. Da mesma forma, o tratamento dos dados coletados seguirá as determinações da [Lei Geral de Proteção de Dados \(LGPD - Lei 13.709/18\)](#).

☐ Eu li os termos da Pesquisa e concordo em participar voluntariamente do presente estudo.

Tab. D1 - Indicadores, método de cálculo e fonte de dados

Indicador	Método do cálculo	Fonte de dados
Domicílios em Aglomerados subnormais	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala qualitativa (referente a porcentagem - % de aglomerados subnormais) para uma análise de decisão multicritérios.	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Emissões de gases efeito estufa pela queima de combustíveis fósseis	Soma da estimativa de Emissões dos setores (energia, processos industriais e resíduos, transporte) (tCO ₂ e/hab.) – GWP AR5) – Ano base	SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
Recuperação energética em aterros sanitários	$TR_{sl} = \frac{P_{sl}}{Up} \times 100.000$ Onde: TR_{sl} = Taxa do potencial de recuperação energética em aterros sanitários por 100.000 habitantes; P_{sl} = potencial de recuperação dos aterros sanitários em megawatts em um ano base (MW/ano); Up = população urbana.	Coelho et al. (2020)
Recuperação energética de efluentes de esgoto	$TR_{se} = \frac{P_{se}}{Up} \times 100.000$ Onde: TR_{se} = Taxa do potencial de recuperação energética dos aterros municipais por 100.000 habitantes; P_{sl} = potencial de recuperação dos aterros sanitários em megawatts em um ano base (MW/ano); Up = população urbana	Coelho et al. (2020)
Recuperação energética total dos biorresíduos urbanos	$TR_{er} = \frac{(TR_{sl} + TR_{se} + TR_{ub})}{Up} \times 100.000$ Onde: TR_{er} = Taxa do potencial de recuperação energética urbana total por 100.000 habitantes; TR_{sl} = Taxa do potencial de recuperação energética em aterros sanitários (MW/ano); TR_{se} = Taxa do potencial de recuperação energética dos aterros municipais (MW/ano); TR_{ub} = Taxa do potencial de recuperação de biomassa útil (MW/ano); Up = população urbana	Coelho et al. (2020)

Potência outorgada de geração de bioenergia	$TR_{pg} = \frac{P_{pg}}{Up} \times 100.000$ Onde: TR_{pg} = Taxa do potencia outorgada centralizada por 100.00 habitantes; P_{pg} = potencial de recuperação dos aterros sanitários em metros cúbicos por ano (nm³/ano); Up = população urbana.	ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
Produção do biometano	$TR_{bm} = \frac{P_{bm}}{Up} \times 100.000$ Onde: TR_{bm} = Taxa do potencial de recuperação de biometano por 100.000 habitantes; P_{bm} = potencial de recuperação dos aterros sanitários em metros cúbicos por ano (nm³/ano); Up = população urbana.	—
Contribuição para o PIB municipal	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala qualitativa (referente a porcentagem - % da contribuição para o PIB municipal) para uma análise de decisão multicritérios.	—
Startups	$Ts = \frac{Ns}{Up} \times 100.000$ Onde: Ts = Taxa do Startups por 100.00 habitantes; Ns = Número de startups registrada; Up = população urbana	Startupbase
Certificação RenovaBio	Variáveis qualitativas	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Cobertura do serviço de coleta seletiva	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % da Cobertura do serviço de coleta seletiva para uma análise de decisão multicritérios	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Destinação final dos resíduos	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % da destinação final dos resíduos para uma análise de decisão multicritérios	SINIR - Sistema Nacional de Gestão Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

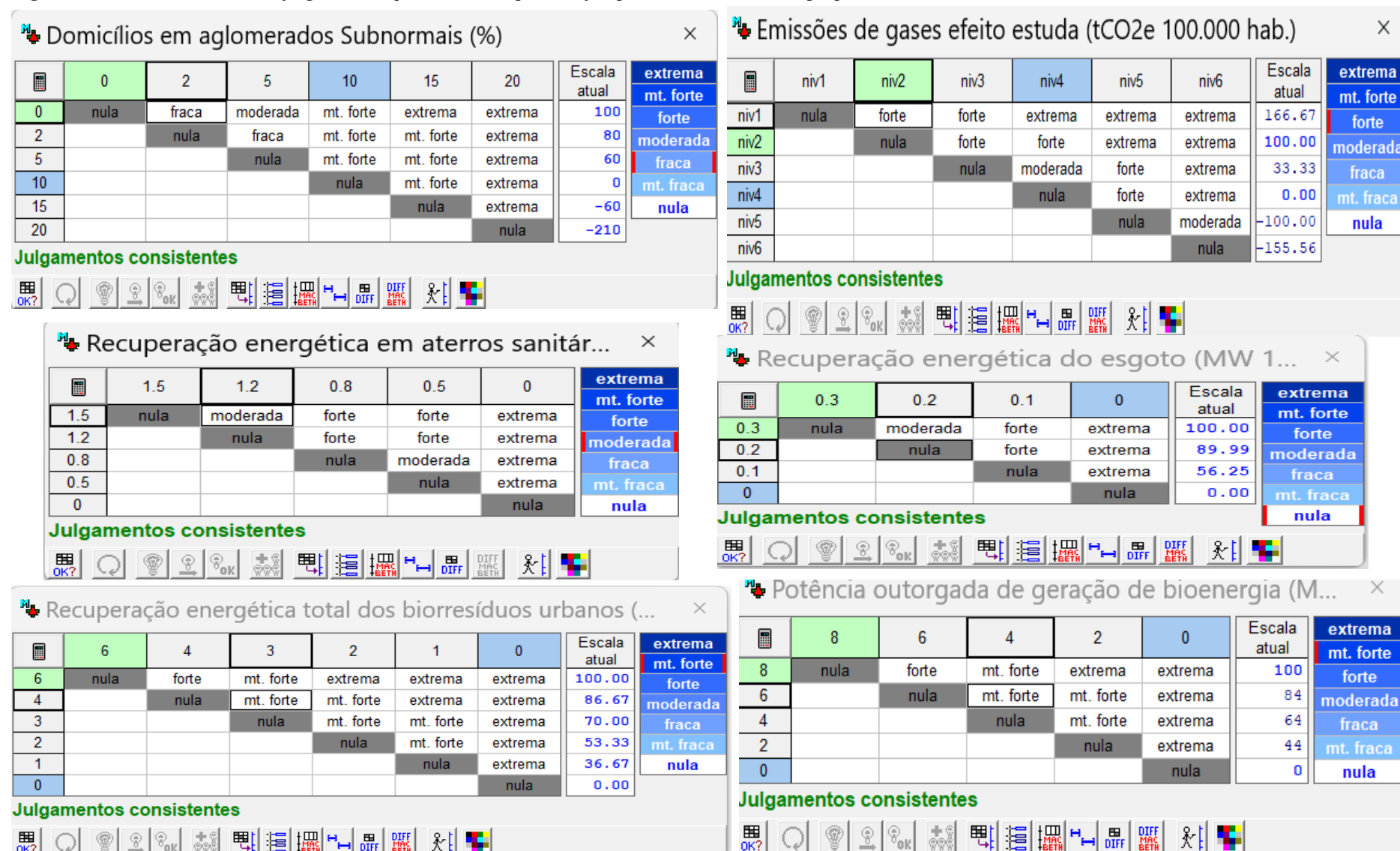
Taxa de reciclagem dos bioresíduos urbanos	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de reciclagem dos bioresíduos urbanos para uma análise de decisão multicritérios	—
Taxa de coleta de esgoto	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de coleta de esgoto para uma análise de decisão multicritérios	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Taxa de tratamento de esgoto	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de tratamento de esgoto para uma análise de decisão multicritérios	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Taxa de recuperação de biogás em aterros sanitário	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de recuperação de biogás em aterros sanitário para uma análise de decisão multicritérios	SINIR - Sistema Nacional de Gestão Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos
Taxa de cobertura regular dos resíduos domiciliares	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de cobertura regular dos resíduos domiciliares para uma análise de decisão multicritérios	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Agricultura urbana e Periurbana	Variáveis qualitativas	AeR - Agroecologia em Rede
Agricultura familiar e comunitária	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala a partir das cinco melhores e piores médias de valores nacionais para uma análise de decisão multicritérios.	IBGE - Atlas do Espaço Rural Brasileiro

Desperdício alimentar	$W_f = U_p \times M \times K$ Onde: W_f = desperdício municipal de alimentos (kg); U_p = População urbana; m = cardinalidade média de desperdício (kg/d·cap); k = coeficiente de correção	Yang et al. (2020)
Taxa de empresas que incluem a agricultura orgânica em sua cadeia de abastecimento	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de empresas que incluem a agricultura orgânica em sua cadeia de abastecimento para uma análise de decisão multicritérios.	—
Infraestrutura verde	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de Infraestrutura verde municipal para uma análise de decisão multicritérios	MapBiomias - Mapeamento Anual de Uso e Cobertura do Solo
Patentes verdes	$T_{gp} = \frac{N_p}{U_p} \times 100.000$ Onde: T_{gp} = taxa de patentes verdes por 100.000 habitantes; N_{pr} = Número de patentes registradas; U_p = população urbana	INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Pesquisadores	$T_r = \frac{N_r}{U_p} \times 100.000$ Onde: T_r = Taxa de pesquisadores inseridos em grupos de pesquisa por 100.000 habitantes; N_{pr} = Número de pesquisadores; U_p = população urbana	CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Processo de sistematização e mapeamento do conhecimento	$T_{ksm} = \frac{N_{ksm}}{U_p} \times 100.000$ Onde: T_{ksm} = Taxa de pontos e organizações que disseminam o conhecimento de agroecologia por 100.000 habitantes; N_{ksm} = Número de pesquisadores; U_p = população urbana	AeR - Agroecologia em Rede
Parcerias Público-Privado	Variáveis qualitativas	—
Capacidade de promover a Biosimbiose Urbana	Variáveis qualitativas	—
Associados em Cooperativas locais de catadores de materiais recicláveis	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente ao número de catadores associados a cooperativas locais de materiais recicláveis para uma análise de decisão multicritérios	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Política municipal para formalização de profissionais que atuam na cadeia de resíduos	Escala qualitativa	SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Programa de Educação Ambiental	Escala qualitativa	—
Incentivos fiscais e/ou subsídios para a compostagem doméstica	Escala qualitativa	—
Plano de gestão integrada de resíduos sólidos entre municípios	Escala qualitativa	—
Consórcio intermunicipal no manejo de resíduos sólidos urbanos	Escala qualitativa	SINIR - Sistema Nacional de Gestão Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

Habilitado a receber o ICMS Ecológico	Escala qualitativa	Unidades de conservação do Brasil
Contratos públicos sustentáveis	Mensuração por meio da proposição de valores em uma escala quantitativa referente a porcentagem - % de contratos públicos sustentáveis para uma análise de decisão multicritérios	Portal da transparência
Investimentos em urbanismo	$T_{iu} = \frac{V_{iu}}{U_p} \times 100.000$ Onde: T_{iu} = Taxa de pontos e organizações que disseminam o conhecimento de agroecologia por 100.000 habitantes; V_{iu} = Valor em investimento urbano; U_p = população urbana.	Portal da transparência
Usina de triagem e compostagem	Escala qualitativa	ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
Plantas de biogás	Escala qualitativa	CIBIOGAS - Centro Internacional de Energias Renováveis
Gasoduto e pontos de entrega	Escala qualitativa	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Linhas de transmissão e subestação de energia	Escala qualitativa	EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Biorrefinaria para a recuperação de biorresíduos urbanos	Escala qualitativa	—

Fig. D2 - Matriz MACBETH de julgamentos qualitativos de ponderação para as 42 indicadores propostos



Agricultura familiar e comunitária (famílias)

	1500	1000	500	100	10	Escala atual	
1500	nula	forte	mt. forte	extrema	extrema	100.00	extrema
1000		nula	mt. forte	extrema	extrema	86.21	mt. forte
500			nula	extrema	extrema	68.97	forte
100				nula	extrema	34.48	moderada
10					nula	0.00	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?

Desperdício alimentar %

	5	10	15	20	25	35	Escala atual	
5	nula	forte	forte	extrema	extrema	extrema	100.00	extrema
10		nula	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	73.68	mt. forte
15			nula	mt. forte	mt. forte	extrema	52.63	forte
20				nula	forte	extrema	0.00	moderada
25					nula	extrema	-21.05	fraca
35						nula	-121.05	mt. fraca
								nula

Julgamentos consistentes

OK?

Taxa de empresas que incluem a agricultura orgânica em...

	80	70	50	30	10	0	Escala atual	
80	nula	fraca	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	100.00	extrema
70		nula	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	88.24	mt. forte
50			nula	forte	mt. forte	extrema	64.71	forte
30				nula	mt. forte	extrema	41.18	moderada
10					nula	extrema	0.00	fraca
0						nula	-105.88	mt. fraca
								nula

Julgamentos consistentes

OK?

Infraestrutura verde (%)

	40	30	20	10	0	Escala atual	
40	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	125.00	extrema
30		nula	forte	mt. forte	extrema	100.00	mt. forte
20			nula	mt. forte	extrema	66.67	forte
10				nula	extrema	0.00	moderada
0					nula	-133.33	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?

Patentes verdes (100.000 hab.)

	3	2	1	0	Escala atual	
3	nula	moderada	forte	extrema	100.00	extrema
2		nula	forte	extrema	81.25	mt. forte
1			nula	extrema	56.25	forte
0				nula	0.00	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK?

Pesquisadores (100.000 hab.)

	3	2	1	0	Escala atual	
3	nula	moderada	forte	extrema	100.00	extrema
2		nula	forte	extrema	81.25	mt. forte
1			nula	extrema	56.25	forte
0				nula	0.00	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK?

Financiamento de projetos (R\$ milhão 100.000 hab.)

	5.5	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	Escala atual	
5.5	nula	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	extrema	100.00	extrema
4.5		nula	mt. forte	mt. forte	mt. forte	extrema	88.57	mt. forte
3.5			nula	mt. forte	mt. forte	extrema	74.29	moderada
2.5				nula	mt. forte	extrema	60.00	fraca
1.5					nula	extrema	45.71	mt. fraca
0.5						nula	0.00	nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Processo de sistematização e mapeament...

	3	2	1	0	Escala atual	
3	nula	forte	mt. forte	extrema	100.00	extrema
2		nula	mt. forte	extrema	85.71	mt. forte
1			nula	extrema	52.63	moderada
0				nula	0.00	fraca

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Parcerias Público-Privada

	sup.	inf.	
sup.	nula	extrema	extrema
inf.		nula	mt. forte

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Capacidade de promover a Biosimb...

	sup.	inf.	Escala atual	
sup.	nula	extrema	100	extrema
inf.		nula	0	mt. forte

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Associados em Cooperativas de catadores...

	30	20	10	0	Escala atual	
30	nula	moderada	mt. forte	extrema	100.00	extrema
20		nula	mt. forte	extrema	74.19	mt. forte
10			nula	extrema	0.00	moderada
0				nula	-111.11	fraca

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Política municipal para formalizaçã...

	niv1	niv2	niv3	Escala atual	
niv1	nula	extrema	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	extrema	40.21	mt. forte
niv3			nula	0.00	moderada

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Programa de Educação Ambiental

	niv1	niv2	niv3	niv4	niv5	niv6	niv7	Escala atual	
	nula	moderada	moderada	moderada	forte	forte	extrema	100.00	extrema
niv1									mt. forte
niv2								86.36	forte
niv3								86.36	moderada
niv4								86.36	fraca
niv5								72.73	mt. fraca
niv6								54.55	nula
niv7								0.00	

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Incentivos fiscais e/ou subsídios pa...

	niv1	niv2	niv3	Escala atual	
	nula	forte	extrema	100.00	extrema
niv1					mt. forte
niv2				71.72	forte
niv3				0.00	moderada
					fraca
					mt. fraca
					nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Plano de gestão integrada de resíd...

	sup.	inf.	Escala atual	
	nula	extrema	100	extrema
sup.				mt. forte
inf.			0	forte
				moderada
				fraca
				mt. fraca
				nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Consórcio intermunicipal no mane...

	sup.	inf.	Escala atual	
	nula	extrema	100	extrema
sup.				mt. forte
inf.			0	forte
				moderada
				fraca
				mt. fraca
				nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Habilitado a receber o ICMS Ecológ...

	sup.	inf.	Escala atual	
	nula	extrema	100	extrema
sup.				mt. forte
inf.			0	forte
				moderada
				fraca
				mt. fraca
				nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Contratos públicos sustentáveis (%)

	90	70	50	30	20	Escala atual	
	nula	mt. fraca	moderada	moderada	extrema	100.00	extrema
90							mt. forte
70						76.01	forte
50						36.00	moderada
30						0.00	fraca
20						-24.00	mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK? [Icons]

Investimentos em urbanismo (Milhão R\$ 100.000...

	3.5	3	2	1	0	Escala atual	
3.5	nula	moderada	forte	mt. forte	extrema	100.00	extrema
3		nula	forte	mt. forte	extrema	86.00	mt. forte
2			nula	mt. forte	extrema	57.09	forte
1				nula	mt. forte	0.00	moderada
0					nula	-53.33	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?

Usina de triagem e compostagem

	niv1	niv2	niv3	niv4	niv5	Escala atual	
niv1	nula	forte	forte	extrema	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	mt. fraca	extrema	extrema	86.75	mt. forte
niv3			nula	extrema	extrema	79.09	forte
niv4				nula	extrema	36.84	moderada
niv5					nula	0.00	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK?

Plantas de biogás

	niv1	niv2	niv3	Escala atual	
niv1	nula	moderada	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	extrema	69.66	mt. forte
niv3			nula	0.00	forte
					moderada
					fraca
					mt. fraca
					nula

Julgamentos consistentes

OK?

Gasoduto e pontos de entrega

	niv1	niv2	niv3	niv4	Escala atual	
niv1	nula	mt. forte	extrema	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	mt. forte	extrema	73.64	mt. forte
niv3			nula	extrema	46.39	forte
niv4				nula	0.00	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK?

Linha de transmissão e subestação de ene...

	niv1	niv2	niv3	niv4	Escala atual	
niv1	nula	mt. forte	extrema	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	mt. forte	extrema	68.75	mt. forte
niv3			nula	extrema	37.50	forte
niv4				nula	0.00	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK?

Biorrefinaria para a recuperação de biorre...

	niv1	niv2	niv3	niv4	Escala atual	
niv1	nula	moderada	forte	extrema	100.00	extrema
niv2		nula	forte	extrema	81.25	mt. forte
niv3			nula	extrema	56.25	forte
niv4				nula	0.00	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK?

Fig. D3 - Árvore de ponto de vista desenvolvida no Software *M-Macbeth*