

REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE ECONOMIA CIRCULAR EM ÁREAS URBANAS

INTEGRATIVE REVIEW ON CIRCULAR ECONOMY IN URBAN AREAS

 Léa Gejer¹

 Vanessa Gomes da Silva²

¹ Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, SP, Brasil,
lea.gejer@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, SP, Brasil,
vangomes@unicamp.br

Resumo

A economia circular (EC) ganhou relevância como o paradigma econômico-ambiental a ser perseguido pela humanidade. Apesar de seu papel fundamental, a gestão das áreas urbanas em direção à economia circular tem tomado diferentes significados, abordagens e métodos. Por isto, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão integrativa da literatura sobre a aplicação da economia circular em áreas urbanas, consolidando as principais abordagens com base na análise das informações obtidas. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, o que permitiu a compreensão dos limites e divergências da expressão espacial de circularidade. Quatro ênfases foram destacadas: (i) fluxos específicos de recursos em áreas urbanas; (ii) integração de fluxos para ciclagem de recursos em áreas urbanas; (iii) planejamento da transição de áreas urbanas lineares para circulares e (iv) conceituação de áreas urbanas circulares. Posteriormente, considerou-se que a abordagem *Cradle to Cradle* abarca a complexidade e a dinâmica necessárias para o desenvolvimento de requisitos qualitativos e quantitativos para áreas urbanas circulares. Como resultado, quatro critérios, quinze categorias e possíveis indicadores identificados na revisão integrativa da literatura vinculam as diversas perspectivas do tema e fornecem uma organização metodológica inicial para implementação da EC em áreas urbanas. Esta contribuição sintetiza e conecta as principais tendências conceituais e estabelece uma base para pesquisas futuras no tema.

Palavras-chave: áreas urbanas circulares. cidade circular. economia circular. *cradle to cradle*. sistemas urbanos regenerativos.

Contribuição dos autores:

LG: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração do projeto, visualização, redação - rascunho original, redação - revisão e edição. VGS: aquisição de financiamento, metodologia, supervisão, validação, redação - revisão e edição.

Fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Responsible Editor:

Sidney Piochi Bernardini 

Abstract

Circular economy (CE) has gained relevance as the economic-environmental paradigm to be pursued by humanity. Despite its key role, managing urban areas towards a circular economy has adopted different meanings, approaches, and methods. Therefore, this study aims at conducting an integrative literature review on the application of circular economy to urban areas, and at consolidating the main approaches based on the analysis of the collected information. Firstly, a systematic literature review offered a thorough understanding of the boundaries and divergences within the spatial expression of circularity. Four emphases stood out: (i) managing specific resource flows in urban areas; (ii) integrating flows for resource looping in urban areas; (iii) planning the transition from linear to circular urban areas; and (iv) conceptualizing circular urban areas. Subsequently, the Cradle-to-Cradle approach was considered to encompass the complexity and dynamics required for developing qualitative and quantitative requirements for circular urban areas. As a result, four criteria, fifteen categories and possible indicators identified in the literature link the various perspectives on the subject and provide an initial methodological organization for implementing CE in urban areas. This contribution synthesizes and connects the main conceptual trends and establishes a basis for future research on this topic.

Keywords: circular urban areas. circular city. circular economy. *cradle to cradle*. regenerative urban systems.

How to cite this article:

GEJER, L.; SILVA, V. G. da. Revisão integrativa sobre economia circular em áreas urbanas. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 15, p. e024007, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8672770>



Introdução

Atualmente, 55% da população mundial reside em centros urbanos (UN, 2018). Nos países do hemisfério sul, este número é ainda maior; no Brasil, por exemplo, as cidades abrigam 84% da população, e estima-se que até 2030, 90% dos brasileiros viverão em cidades (Ferretti, 2016). As áreas urbanas também desempenham um papel significativo na economia, contribuindo com cerca de 80% do PIB global (McKinsey Global Institute, 2012), e representam aproximadamente a mesma quantidade de uso global de recursos, liberação de carbono e produção de resíduos sólidos (UN, 2013).

Tradicionalmente, áreas urbanas operam em um modelo linear, que se baseia em fluxos do chamado “berço ao túmulo”. Neste modelo, as indústrias produzem principalmente materiais e produtos não renováveis para consumo e descarte rápido, a água e os nutrientes raramente são reciclados eficazmente, e a maioria dos sistemas de energia funcionam de maneira ineficiente. Isto resulta no esgotamento de recursos naturais, acúmulo de resíduos e poluição da água, ar e terra (Lakatos et al., 2021). Em contrapartida, a economia circular (EC) propõe uma ruptura com este sistema linear, estabelecendo ciclos “do berço ao berço”, por meio da recirculação de recursos e extensão de ciclos de vida de materiais e produtos. Desta forma, o modelo circular propõe estratégias para superar questões ambientais e melhorar a produtividade dos sistemas econômicos, dissociando o crescimento econômico do consumo de recursos (Braungart; McDonough; Bollinger, 2007).

Portanto, a transição para a EC não só oferece oportunidades para criar áreas urbanas menos vulneráveis e mais competitivas, regenerando ecossistemas e aproveitando recursos naturais como capital local, mas também impulsiona a inovação e novas oportunidades econômicas e integra positivamente as áreas urbanas aos seus arredores (De Medici; Riganti; Viola, 2018; Lakatos et al., 2021). No entanto, esta transição exige uma mudança sistêmica em diferentes níveis de planejamento, desde sistemas industriais e construção de edifícios até infraestruturas urbanas e políticas públicas (Lakatos et al., 2021).

Países como a Alemanha e Japão foram pioneiros em adotar políticas de EC voltadas para cidades. Por exemplo, a Alemanha ratificou o "Ciclo Fechado de Substâncias e Adoção de Gestão de Resíduos" em 1996, enquanto o Japão estabeleceu regulamentos e leis para orientar a gestão e reciclagem de resíduos (Bîrgovan et al., 2022). Em 2015, a União Europeia estabeleceu um "Plano de Ação de Economia Circular" destinando fundos significativos para a transição do modelo linear para o circular (European Commission, 2015). Ademais, o "Acordo Verde Europeu", criado em 2019, define estratégias para enfrentar desafios climáticos e ambientais e desvincular o crescimento econômico do uso de recursos (European Commission, 2020).

Mais recentemente, países e cidades latino-americanos também estão adotando políticas de EC. Por exemplo, a Colômbia desenvolveu suas Estratégias Nacionais de Economia Circular (Colombia, 2019), e Bogotá, a sua capital, implementou bairros voltados para combater as mudanças climáticas e melhorar a qualidade de vida da população (Ramírez, 2022). Já o município de São Paulo formalizou uma parceria com a Fundação Ellen Macarthur e lançou o projeto “Ligue os Pontos”, que promove a agricultura urbana associada à segurança alimentar da população mais vulnerável (UN, 2022).

Desta forma, o conceito de áreas urbanas circulares tem se tornado mais claro, assimilando a orientação para além da gestão de resíduos e eficiência dos sistemas e direcionando-se para a redução de entradas de insumos e a valorização dos ciclos internos de recursos. Porém, ainda não existe uma definição única para áreas urbanas circulares nem um *framework* que permita medir o desempenho e direcionar a melhoria dos processos. A

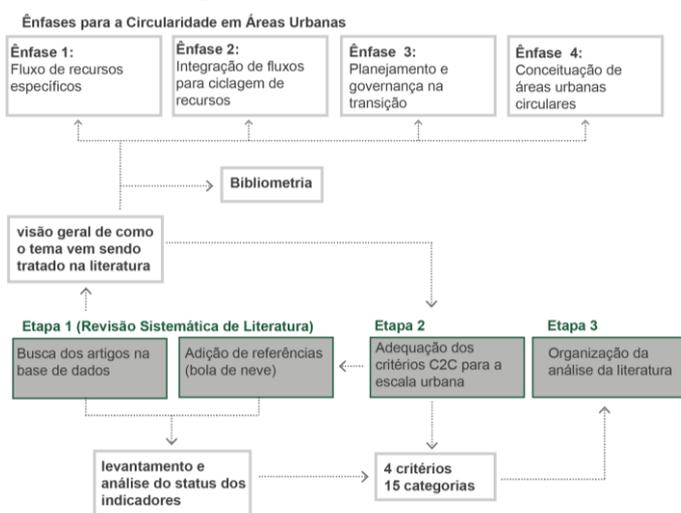
transição para áreas urbanas circulares requer a integração de diversos atores e camadas urbanas, tornando fundamental a definição de requisitos e indicadores que simplifiquem e orientem a avaliação de informações relevantes para a tomada de decisões (Bîrgovan et al., 2022).

Assim, este estudo tem como objetivos (i) gerar uma revisão integrativa da literatura de modo a aprofundar abordagens de EC aplicada a áreas urbanas, identificando as principais tendências, e (ii) sintetizar o conceito de áreas urbanas circulares, criando uma organização com possíveis critérios, categorias e indicadores, que possa servir de base para futuras pesquisas. O método de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) possibilitou uma análise das abordagens existentes e, com base nas descobertas preliminares, sugeriu-se que o modelo *Cradle to Cradle* (C2C), conforme proposto por McDonough e Braungart (2002), oferece uma perspectiva holística da EC que pode orientar a estrutura conceitual de áreas urbanas circulares. Como resultado, este estudo contribui ao sintetizar as principais tendências, organizar os critérios, categorias e indicadores identificados na literatura, estabelecendo assim uma base para pesquisas futuras, e promovendo conexões entre as abordagens conceituais existentes.

Métodos

Esta pesquisa foi realizada em três grandes etapas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Primeiramente, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida com base na metodologia proposta por Kitchenham (2004), para compreender as tendências teóricas e as principais características de áreas urbanas circulares e identificar as principais tendências conceituais e características relacionadas às áreas urbanas circulares (Apêndice A). Foram analisados artigos provenientes da base de dados Scopus, abordando as seguintes questões de pesquisa: "Como a Economia Circular tem sido aplicada no contexto do planejamento e da gestão urbana?", "Quais são as tendências predominantes no debate acadêmico sobre a circularidade nas áreas urbanas?", e "Quais categorias e indicadores têm sido empregados para avaliar áreas urbanas circulares, e de que forma estão sendo implementados?".

Figura 1- Etapas da análise integrativa da literatura e resultados



Fonte: as autoras.

Após a análise de títulos e resumos, 120 artigos foram examinados, resultando no apontamento de quatro ênfases complementares sobre o tema. Para complementar a amostra e ampliar o conjunto de indicadores levantados, a aplicação da técnica da "bola de neve" incorporou seis documentos específicos que oferecem diretrizes e estratégias para

a implementação da EC em áreas urbanas e regiões (Apêndice A): dois documentos institucionais que delineiam a estratégia de implementação da EC em duas cidades pioneiras - Amsterdam (EU, 2020) e Londres (LWARB, 2017); um documento institucional orientativo relacionado à estratégia da EC na Europa (European Commission, 2015); um documento contendo as diretrizes das Nações Unidas para o desenvolvimento de cidades diante das mudanças climáticas (UN, 2013); um documento voltado a elaboradores de políticas (Ellen Macarthur Foundation, 2015); e um artigo que explora a aplicação da metodologia *Cradle to Cradle* no contexto do ambiente construído (Mulhall; Braungart, 2010).

Finalizada a definição da amostra, os critérios atualmente utilizados no padrão do programa de certificação de produtos *Cradle to Cradle* foram examinados, com o objetivo de avaliar sua aplicabilidade na escala urbana. Este exame resultou na identificação de quatro critérios e quinze categorias que caracterizam a aplicação da EC em áreas urbanas (Etapa 2). Por fim, para concluir a revisão integrativa, os indicadores identificados na literatura foram organizados com base nestes critérios e categorias (Etapa 3).

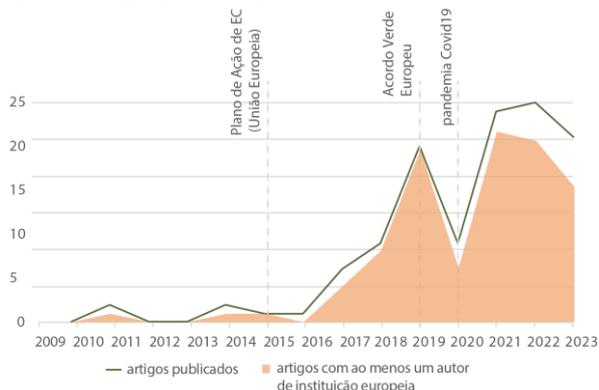
Resultados

Localização da pesquisa e intensidade de publicação

A liderança na pesquisa sobre circularidade no ambiente construído concentra-se na Europa, com mais de 75% dos autores originários deste continente. No contexto europeu, a maioria dos pesquisadores tem sua base especialmente no Reino Unido (12%), Holanda e Itália (ambos com 9%), com considerável colaboração em pesquisas com outros vinte países europeus. Outros países, como os Estados Unidos, China e Austrália, contribuem conjuntamente com 14% dos autores, enquanto a Ásia contribui com 12%. A América do Sul e Central representam cerca de 3% dos autores da amostra, e a África com 1%.

A quantidade de artigos publicados tem experimentado um crescimento notável nos últimos anos. A circularidade nas áreas urbanas recebeu pouca atenção de 2010 a 2016, com uma média de apenas um artigo por ano. Entretanto, a situação mudou em 2017 e 2018, quando foram publicados 5 e 6 artigos, respectivamente. Desde então, o debate tem crescido substancialmente. Em 2019, houve a publicação de 20 novos artigos, representando um aumento aproximado de 200% em relação ao ano anterior. Embora a amostra tenha diminuído em 2020, com um total de 9 artigos, houve uma retomada constante do crescimento nos anos subsequentes, com 24 artigos em 2021, 25 em 2022 e 21 até setembro de 2023, quando a pesquisa foi conduzida (Figura 2). O gráfico demonstra que, apesar de ser um tema recente, há um aumento crescente considerável de publicações, especialmente na Europa, o que pode ser atribuído ao fortalecimento das políticas recentes de EC no continente.

Figura 2 – Artigos publicados por ano



Fonte: as autoras.

Ênfases para circularidade em áreas urbanas

Com o propósito de entender como a EC em tem sido aplicada nas áreas urbanas, foram identificadas quatro ênfases que abordam diferentes aspectos relacionados às áreas urbanas circulares (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Estas ênfases são as seguintes: (i) Fluxos de Recursos Específicos em Áreas Urbanas, (ii) Integração de Fluxos para Ciclagem de Recursos em Áreas Urbanas, (iii) Planejamento da Transição de Áreas Urbanas Lineares para Circulares e (iv) Conceituação de Áreas Urbanas Circulares. Estas quatro ênfases estão intrinsecamente interligadas e se complementam, o que expõe a natureza interdisciplinar e complexa da aplicação da EC em áreas urbanas. As seções subsequentes detalham cada uma destas ênfases.

Fluxo de Recursos Específicos em Áreas Urbanas

A primeira ênfase aborda o debate em torno de fluxos específicos de recursos que constituem a complexidade de uma área urbana. Estes artigos investigam tecnologias, gerenciamento e planejamento de cada recurso ou fluxo urbano, frequentemente estabelecendo critérios, requisitos e indicadores. Os fluxos identificados na RSL foram agrupados nas seguintes categorias: resíduos municipais, resíduos orgânicos municipais e resíduos de árvores urbanas, alimentos, plásticos, estoques de materiais de construção, água, qualidade do ar e uso da terra (Apêndice B).

Integração de fluxos para ciclagem de recursos em áreas urbanas

Estes artigos referem-se à integração de fluxos de recursos em sistemas metabólicos urbanos. As áreas urbanas são reconhecidas como ecossistemas complexos, pois consomem e produzem uma ampla gama de materiais, recursos naturais e alimentos, ao mesmo tempo que dependem significativamente de recursos importados e geram poluição e resíduos. Para ilustrar estratégias em prol da circularidade, o trabalho de Szyba e Mikulik (2023), por exemplo, concentra-se na gestão de resíduos orgânicos municipais, visando a produção de biogás. Já Paiho *et al.* (2021) sugerem a integração dos sistemas de transporte, energia e alimentos como meio de alcançar uma maior circularidade no contexto urbano.

Outros trabalhos investigam o modelo Nexus, implementado na Suécia e China. O Nexus é uma abordagem destinada a conservar e regenerar os sistemas de água, energia e alimentos (Al-Azzawi; Gondhalekar; Drewes, 2022, Xue; Liu; Casazza; Ulgiati, 2018, Piezer *et al.*, 2019). Este modelo também pode estar associado ao fluxo de resíduos (Valencia; Zhang; Chang, 2022), bem como ao de saneamento (Nhamo *et al.*, 2021), infraestrutura e uso do solo (Williams, 2019b). Em todos estes casos, o Nexus é proposto como a base para alcançar resiliência urbana, ao integrar os fluxos interconectados. Isto envolve tanto infraestruturas ecológicas quanto as construídas, promovendo a reutilização, reciclagem e recuperação dos recursos urbanos.

Ainda, um número relevante de artigos investiga a aplicação de Sistemas Baseados na Natureza (SBN) como estratégias para enfrentar os desafios da circularidade urbana e fomentar a biodiversidade (Langergraber *et al.*, 2020, Atanasova *et al.*, 2021, Pearlmutter *et al.*, 2019). Os SBN são reconhecidos como uma maneira de oferecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos benéficos para as áreas urbanas, como a regulação do microclima, a prevenção de inundações, o tratamento de água e o fornecimento de alimentos. No entanto, a maioria dos SBN é implementada servindo apenas um único propósito. Ao conectar SBN ao conceito de EC, que envolve a combinação de diferentes tipos de serviços e a reintegração de recursos na cidade, torna-se possível ampliar significativamente os benefícios alcançados pelas áreas urbanas (Langergraber *et al.*, 2020).

Planejamento na transição de áreas urbanas lineares para circulares

A pesquisa em EC tem se concentrado principalmente em estratégias técnicas e gerenciais para o fechamento de ciclos de recursos por meio de novas tecnologias de produção industrial e modelos de negócios (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017). No entanto, ao expandir o conceito para uma perspectiva espacial, a infraestrutura e o uso da terra também tornam-se cruciais, já que materializam a conexão física entre fluxos e pessoas (Giezen, 2018). Assim, este grupo de artigos explora o planejamento urbano, a governança e o envolvimento social e cultural, para o empoderamento dos cidadãos na criação de uma visão de longo prazo para enfrentar possíveis incertezas.

Uma vez que as potencialidades circulares variam de acordo com as características de cada sistema urbano, as estratégias de EC podem ser adaptadas a cada realidade. Cabe aos gestores delimitar a área estratégica, que pode variar em termos de limites geográficos, como um bairro ou distrito industrial específico, ou em termos de realidade econômica, abrangendo uma variedade de atividades ou setores produtivos (Sánchez Levoso et al., 2020). Ainda, a transição para a EC deve focar em processos participativos orientados para atender à demanda local, envolvendo diversos atores, promovendo a conscientização dos cidadãos e incentivando o desenvolvimento tecnológico (Obersteg et al., 2019).

Conceituação de áreas urbanas circulares

A quarta ênfase concentra-se em conceitos e métodos que evoluem a partir de abordagens já existentes, adaptando-as para a perspectiva de EC no contexto urbano. Alguns autores adaptam estruturas de EC desenvolvidas inicialmente para empresas (Prendeville; Cherim; Bocken, 2018; Williams, 2019a) ou para o *design* de produtos (Baffour Auwah; Booth, 2014; Booth et al., 2012), a fim de aplicá-las à escala urbana. Outros sugerem a adaptação da agenda de sustentabilidade da ONU (Cavaleiro de Ferreira; Fuso-Nerini, 2019), dos princípios de ecologia urbana (Pelorosso; Gobattoni; Leone, 2017) ou a otimização de modelos de “ecocidades” (Marin; De Meulder, 2018) na transição para a EC.

Estes conceitos e métodos identificados na RSL podem desempenhar um papel fundamental na estruturação de áreas urbanas circulares. Quatro deles se destacam na análise da literatura: ReSOLVE, Cidade de Baixa Entropia, Circularidade Regenerativa para o Ambiente Construído (RC4BE) e *Cradle to Cradle*. As seções a seguir apresentam estas abordagens.

ReSOLVE

A Fundação Ellen MacArthur desenvolveu o *framework* ReSOLVE, com o objetivo de orientar empresas em direção à EC. O ReSOLVE consiste em seis princípios: Regenerar, Compartilhar, Otimizar, Circular, Virtualizar e Permutar (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Dois artigos da amostra da RSL sugerem adaptá-lo para ambientes urbanos. Entretanto, de acordo com um deles, embora o ReSOLVE seja o quadro de EC mais abrangente e bem-sucedido para as empresas, ele apresenta limitações significativas quando aplicado a cidades. A autora identifica três componentes-chave: Adaptação, Escala e Localização, que devem ser acrescentados ao ReSOLVE para lidar com a complexidade inerente dos ecossistemas urbanos (Williams, 2019a). Ao mesmo tempo, o artigo sugere a eliminação dos princípios Virtualizar e Permutar, o que resultaria em uma modificação expressiva do *framework* original. Para abordar estas limitações, Prendeville, Cherim e Bocken (2018) propõem a aplicação simultânea de processos *top-down* e *bottom-up* para cada princípio do ReSOLVE. Os processos *top-down* são orientados por instituições governamentais, como estratégias e políticas públicas. Já os processos *bottom-up* são motivados pela sociedade civil, incluindo atividades organizadas por ONGs, comunidades e empresas. Em resumo, os dois artigos estudados sugerem uma modificação estrutural do ReSOLVE, o que

suscita questões sobre a eficácia da adaptação desta abordagem, originalmente desenvolvida para negócios, ao contexto urbano.

Cidade de baixa entropia

O conceito de "cidade de baixa entropia" fundamenta-se na ideia de que a EC se baseia nos princípios da natureza, e ao ser aplicada em ambientes urbanos, refere-se à "termodinâmica dos sistemas abertos". As áreas urbanas são consideradas como sistemas autopoieticos, mantendo sua autonomia, ao mesmo tempo em que permanecem abertos para interagir e compensar as inevitáveis perdas de acordo com a segunda lei da termodinâmica. Este modelo destaca o papel fundamental da infraestrutura verde e das soluções inspiradas na natureza para reduzir a entropia. Como resultado, recursos são captados localmente e os resíduos gerados pelas atividades humanas são reutilizados e transformados em benefícios para a população e o meio ambiente. Isto minimiza o desperdício, melhora a saúde da população e promove relações positivas entre diferentes componentes do sistema urbano (Pelorosso; Gobattoni; Leone, 2017).

Circularidade Regenerativa para o Ambiente Construído (RC4BE)

Sala Benites, Osmond e Prasad (2022) apontam algumas lacunas na abordagem de EC quando aplicada em ambientes urbanos, destacando sua ênfase predominantemente técnica, foco restrito no metabolismo de recursos e limitações na abordagem de aspectos sociais. Para superar estas deficiências, os autores apresentam o modelo conceitual da Circularidade Regenerativa para o Ambiente Construído (RC4BE) e sugerem cinco pilares para assegurar sua dinamicidade e adaptabilidade a diferentes contextos: (1) Metabolismo Urbano Circular: enfoca a gestão dos fluxos e estoques de recursos urbanos; (2) Sistemas Urbanos Adaptáveis e Resilientes de Alta Qualidade: visa criar sistemas urbanos resilientes que ofereçam alta qualidade de vida e bem-estar; (3) Ecossistemas Urbanos Saudáveis e Bioconectados: envolve a interconexão de espaços verdes urbanos; (4) Boa Governança e Comunidades Prósperas: destaca a importância da governança eficaz e o fortalecimento das comunidades locais, contribuindo para uma economia próspera e um ambiente comunitário saudável e (5) Abordagem Sistêmica e Impacto Positivo: enfatiza a necessidade de uma abordagem holística e sistêmica, com o objetivo de gerar impactos positivos tanto na escala local quanto global.

Do Berço ao Berço (Cradle to Cradle -C2C)

O paradigma *Cradle to Cradle* (C2C), proposto por McDonough e Braungart (2002) apresenta uma abordagem para o *design* de produtos circulares e é um dos fundamentos teóricos da EC, conforme apontado pela Ellen MacArthur Foundation (2015). Este modelo busca desenvolver processos saudáveis, circulares e regenerativos que eliminam o desperdício por meio do *design* de produtos e sistemas, enquanto maximizam o uso de recursos renováveis e promovem a diversidade local.

A partir do entendimento do funcionamento de ecossistemas naturais, o C2C sugere três princípios fundamentais para a criação de produtos e sistemas criados para a sociedade:

- **resíduos são alimentos:** fechamento de ciclos de água e nutrientes, diferenciados em ciclos biológicos e técnicos;
- **usar a fonte solar ilimitada:** captação de energia local, limpa e renovável;
- **celebrar a diversidade:** explorar as potencialidades, materiais e culturas locais.

Desde 2012, produtos industriais podem obter a certificação C2C, validando esta abordagem como uma medida de otimização contínua para a EC. Até o momento, milhares de produtos foram avaliados com base em seu desempenho em cinco categorias: **Saúde**

dos Materiais, Circularidade do Produto, Proteção do Ar e Clima, Gestão da Água e Solo e Equidade Social (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020). Para aplicação na escala da edificação, a abordagem C2C estabelece diretrizes para a criação de elementos construtivos que permitam sua desconstrução e reciclagem em alta qualidade, dentro de ciclos técnicos e biológicos. Adicionalmente, tais edifícios são projetados para integrar fluxos de água e nutrientes biológicos, ao mesmo tempo em que promovem ativamente a biodiversidade e contribuem para a melhoria da qualidade do ar e do clima (Mulhall; Braungart, 2010).

Embora o C2C tenha sido aplicado com sucesso a uma variedade de produtos industriais e inspirado projetos de edifícios, sua expansão para a escala urbana ainda está em desenvolvimento. Apesar da existência de alguns empreendimentos exemplares que demonstram esta possibilidade, não existem evidências claras de sua aplicação sistemática (Booth *et al.*, 2012). Portanto, estes casos bem-sucedidos já existentes podem se tornar unidades de estudo da aplicação da EC em áreas urbanas.

O Park 20/20, por exemplo, foi concebido como o primeiro sistema urbano desenvolvido a implementar a abordagem C2C. Este empreendimento, cobrindo uma área de 114.000m², foi projetado em 2010 pelo William McDonough and Partners em Hoofddorp, nos Países Baixos. Seu *Master Plan* promove o *design* regenerativo em várias escalas, destacando os seguintes pontos-chave: (1) a orientação dos edifícios para otimizar a captação de energia solar e eólica; (2) o desenvolvimento de uma paisagem regenerativa com diversificação da vegetação, corredores paisagísticos e áreas verdes adicionais em telhados e estacionamentos; (3) a implementação de instalações descentralizadas para tratamento de água e produção de energia renovável e (4) a adoção da agenda C2C para eliminar a geração de resíduos, incluindo o uso de materiais de construção projetados para desmontagem e retorno seguro aos seus ciclos (ASLA, 2010).

Outro exemplo da aplicação dos princípios C2C em áreas urbanas são os biosistemas integrados, que trazem soluções para a descentralização do tratamento de efluentes em cidades de países emergentes, oferecendo uma série de benefícios para a população local. A ONG brasileira 'O Instituto Ambiental' desenvolve estes sistemas no Haiti e no Brasil, tratando efluentes domésticos por meio de filtros com plantas macrófitas e tanques de peixes, além de reciclar nutrientes biológicos para a produção de fertilizantes agrícolas. Estes sistemas também recuperam o metano gerado na decomposição orgânica do lodo para produzir gás doméstico. Os moradores das comunidades operam estes sistemas, que geram água limpa, biogás e alimentos, melhorando a saúde pública e regenerando os ecossistemas locais (OIA, 2021).

Discussão

A aplicação da EC em áreas urbanas está intrinsecamente relacionada a fatores locais específicos, como a disponibilidade de recursos, características territoriais e demandas culturais. Além disto, envolve mudanças estruturais e sistêmicas que requerem a colaboração de diversos atores da sociedade. Tais transformações ocorrem em múltiplas escalas, abrangendo desde materiais, produtos, sistemas industriais e edifícios até cidades e regiões. Neste contexto, identificar e sintetizar as principais tendências, organizando categorias e indicadores utilizados na literatura, pode servir de base para novas pesquisas, e futuramente apoiar o projeto e conduzir atores interessados na cocriação de áreas urbanas circulares.

Embora as abordagens investigadas na RSL demonstrem êxito na promoção da circularidade em diversas escalas, ainda apresentam limitações quanto à abrangência e dinâmica necessárias para enfrentar os desafios da implementação da EC em áreas

urbanas. Alguns dos artigos analisados na amostra, notadamente os de autoria de Prendeville, Cherim e Bocken (2018) e Williams (2019a), adaptaram o *framework* ReSOLVE, originalmente concebido para empresas, visando sua aplicação em contextos urbanos. No entanto, mesmo após a reconfiguração destes modelos, a circularidade em áreas urbanas revela-se mais complexa e abrangente do que aquela voltada para empresas, uma vez que não reflete de maneira adequada os múltiplos desafios urbanos nem estabelece conexões entre as diversas práticas espaciais e estruturas necessárias.

Diferentemente, modelos como as Cidades de Baixa Entropia, desenvolvido por Pelorosso, Gobattoni e Leone (2017) e o RC4BE, criado por Sala Benites, Osmond e Prasad (2022) têm como foco desencadear uma mudança sistêmica em diversos níveis de planejamento urbano. Embora estas abordagens busquem identificar lacunas nos paradigmas da EC em áreas urbanas, ainda é necessário um exame mais aprofundado de suas implicações práticas, bem como a definição de métricas para avaliar e otimizar projetos e o desenvolvimento de áreas urbanas circulares. Portanto, estes *frameworks* ainda se encontram em estágios conceituais iniciais, e os autores reconhecem a necessidade de refiná-los em futuras pesquisas, detalhando os requisitos e indicadores de forma mais clara para orientar sua implementação e replicação em diferentes contextos.

Já o modelo C2C, concebido por McDonough e Braungart (2002), apesar de originado na escala de produtos industriais, mostra-se potencialmente escalável em nível urbano, como demonstrado nos estudos de caso. O programa de certificação C2C tem promovido com êxito a prática de desenvolver produtos industriais para a EC em diversas cadeias produtivas com base em seus princípios e critérios metodológicos. Embora requeira adaptações para enfrentar as complexidades das áreas urbanas, seus princípios abrangem questões essenciais da EC, sobretudo ao abordar, de forma bem-sucedida, a emulação do funcionamento de ecossistemas naturais em sistemas produzidos pela sociedade. Portanto, fica evidente a possibilidade de ajustá-los para diferentes áreas de planejamento urbano, mantendo sua consistência ao longo desta adaptação.

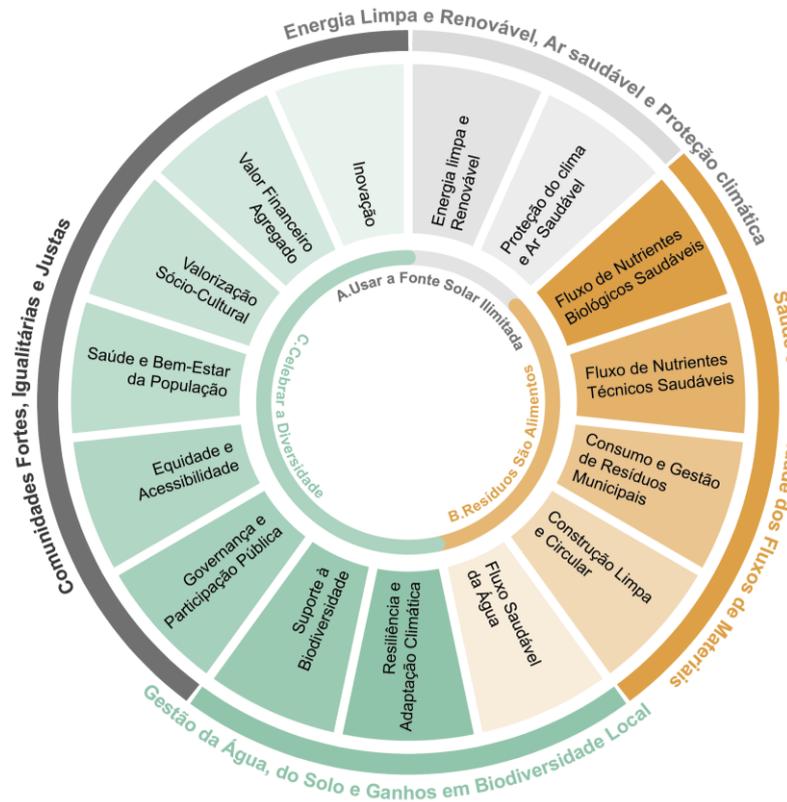
Sistematização dos resultados

A abordagem C2C serviu como fundamento para a síntese e organização das informações na RSL, sendo justificada pelo seu fornecimento de princípios e critérios fundamentais para a regeneração de sistemas naturais e pela sua visão abrangente da EC, que já demonstrou eficácia em outras escalas e revelou-se adaptável para contextos urbanos. Portanto, partiu-se do pressuposto de que os princípios do C2C podem constituir uma base sólida para a estruturação de medidas qualitativas e quantitativas necessárias à criação de áreas urbanas circulares. Ao mesmo tempo, estes princípios podem auxiliar na comunicação de informações cruciais para a tomada de decisões, permitindo a conexão entre os conceitos, categorias e indicadores abordados e suas possíveis aplicações em projetos urbanos circulares.

Assim, os princípios do C2C e os critérios de certificação de produtos do Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2020) foram adequados para aplicação em áreas urbanas. Esta adequação resultou em quatro critérios: **(i) Energia Limpa e Renovável, Ar Saudável e Proteção Climática, (ii) Saúde e Circularidade dos Fluxos de Materiais, (iii) Gestão da Água e do Solo e Ganhos em Biodiversidade Local e (iv) Comunidades Fortes, Iguais e Justas.** Os critérios da certificação de produtos “Saúde dos Materiais” e “Circularidade do produto” foram unificados em um único critério para a escala urbanas, “**Saúde e Circularidade dos Fluxos de Materiais**”, conforme detalhado no Apêndice C. Esta unificação reconhece a necessidade de abordar a saúde dos materiais em conjunto com a gestão efetiva dos fluxos de materiais em áreas urbanas. Os novos critérios estabelecidos foram ramificados em quinze categorias de projeto identificadas na amostra (**Erro! Fonte**

de referência não encontrada.), sendo o status de cada categoria analisado com base na frequência e profundidade de discussão dos indicadores apresentados na amostra (Erro! Fonte de referência não encontrada.).

Figura 3. Representação de organização da literatura. Princípios C2C (círculo interno), critérios para a escala urbana (círculo externo) e categorias no círculo do meio

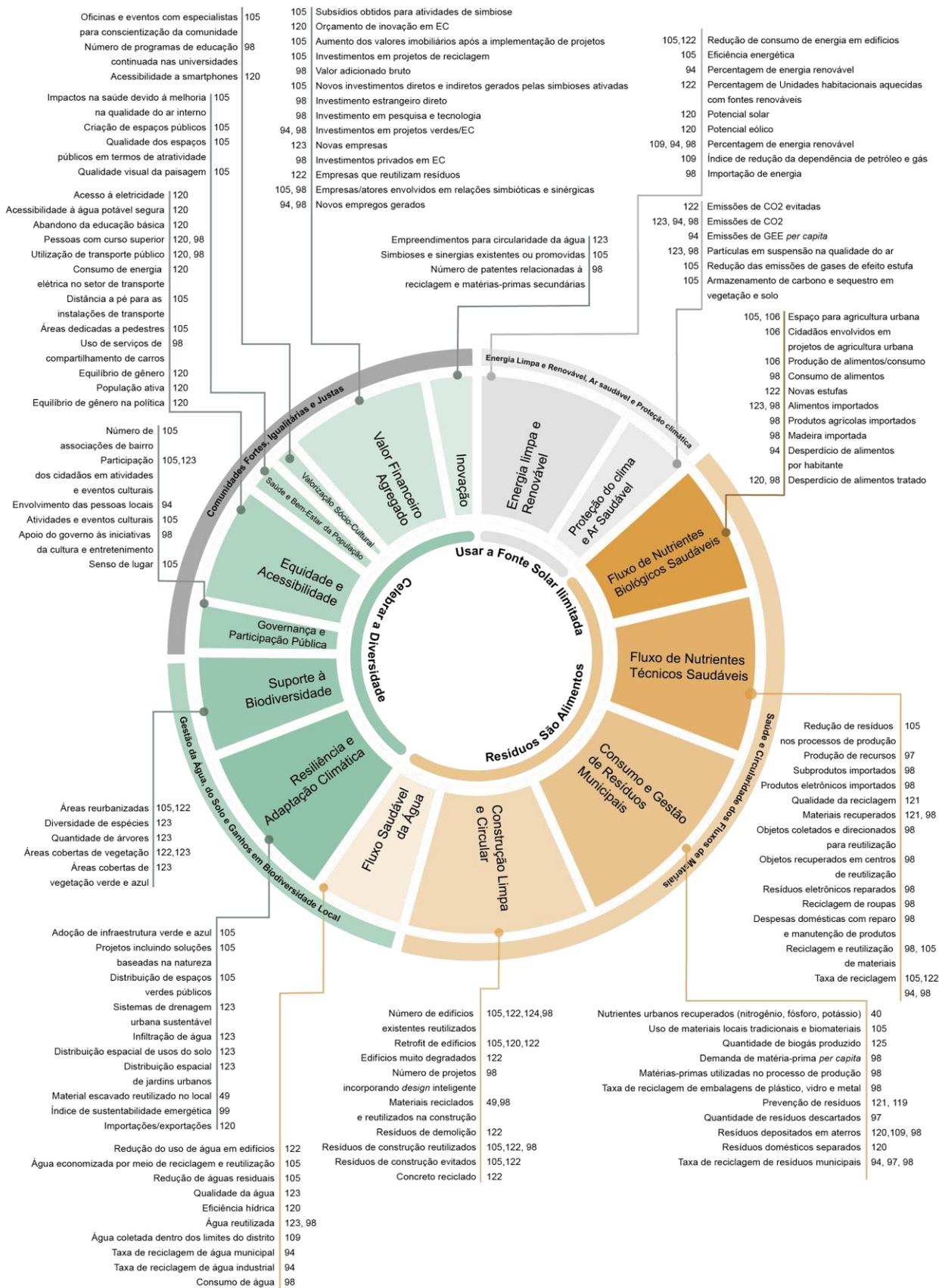


Fonte: as autoras.

Observa-se na Figura 4 que a organização proposta para sintetizar o conceito de áreas urbanas circulares, a partir dos critérios e categorias gerados, está alinhada com três princípios-chave do C2C, permitindo que a estrutura proporcione uma compreensão abrangente do tema e busque com sucesso replicar os princípios do funcionamento da natureza em projetos de ambientes urbanos, característica que se mostrou imprescindível na prática da EC em ambientes urbanos. Apesar da diversidade de abordagens e da ampla gama de indicadores encontrados na literatura, os indicadores coletados na RSL se mostraram equilibrados entre os quatro critérios estabelecidos, fornecendo um ponto de partida para a compreensão de como a EC está sendo aplicada nas áreas urbanas.

Notavelmente, o critério "Saúde e Circularidade dos Fluxos de Materiais" abrigou o maior número de indicadores, concentrando-se principalmente na circularidade de materiais e sistemas urbanos. Dentro deste critério, a categoria "Consumo e Gestão de Resíduos Municipais" se destaca, sublinhando a necessidade de trabalhar tanto o comportamento dos cidadãos quanto à gestão municipal para otimizar a circulação de recursos. Outra categoria de grande relevância é "Resiliência e Adaptação Climática", que, juntamente com as categorias "Suporte à Biodiversidade Local" e "Fluxo Saudável da Água", oferece oportunidades para regenerar ecossistemas locais, tirando o máximo proveito dos recursos naturais da região, fortalecendo a biodiversidade e criando comunidades mais resilientes e competitivas. Isto mostra como é possível, ao criar soluções para a circularidade, incentivar um excedente de efeitos positivos na região, de forma que as atividades humanas avancem na adaptação climática, restauração e regeneração dos sistemas humanos e ecológicos.

Figura 4 – Organização dos critérios, categorias e indicadores identificados na literatura. Cada fatia de categoria representa a contribuição ponderada por número de menções e a profundidade de discussão na amostra da RSL. Os números representam referência bibliográfica de acordo com a numeração RSL (Apêndice A)



Fonte: as autoras.

Para além de trabalhar os fluxos de recursos em metabolismos fechados, a presença ampla da categoria "Comunidades Fortes, Iguatárias e Justas" representa como a EC tem o potencial de produzir uma série de benefícios ao bem-estar e valorização humana e dos ecossistemas, entre eles gerar novas oportunidades de trabalho, inclusão social e econômica e redução das desigualdades socioambientais. Ressalta-se que a categoria "Governança e Participação Pública", embora pouco representativa na amostra, merece atenção especial, uma vez que a governança eficaz e o envolvimento das comunidades locais são fundamentais para coordenar e gerenciar as práticas de metabolismo urbano, unindo diversos campos disciplinares em soluções duradouras. Para tanto, torna-se essencial engajar governos locais, cidadãos, empresas e organizações em iniciativas que a adoção de políticas, investimentos em infraestrutura e conscientização pública para essa transição.

Conclusões e próximos passos

Este artigo fornece uma revisão integrativa das abordagens de EC aplicadas a áreas urbanas, identificando as principais tendências, critérios e indicadores presentes na literatura. O objetivo deste estudo foi duplo: aprofundar a compreensão das abordagens de EC em áreas urbanas e criar uma estrutura organizada de critérios, categorias e possíveis indicadores como base para futuras pesquisas. Destaca-se a crescente importância deste tópico, refletida no aumento do número de artigos e de novas abordagens publicadas nos últimos anos.

A revisão também evidenciou a complementaridade entre as diferentes ênfases das abordagens, que incluem a gestão e integração de fluxos de recursos, o planejamento para a transição da economia linear para a circular e os desafios relacionados à adaptação de conceitos existentes à aplicação da EC em áreas urbanas. Como conclusões centrais, pode-se destacar que as abordagens originadas na área de planejamento territorial requerem maior detalhamento para possibilitar sua aplicação em cenários diversos, enquanto os modelos adaptados de outras escalas ou conceitos preexistentes necessitam de cuidado adicional para preservar sua integridade e abordar as complexidades inerentes às áreas urbanas. Um ponto fundamental é que todas as abordagens enfatizam a importância de compreender e replicar o funcionamento da natureza, sendo isto um fator-chave para atingir a dinâmica de sistemas urbanos circulares.

O material foi organizado com base no modelo C2C. Embora demande adaptações para lidar com as complexidades das áreas urbanas, o C2C fornece, a partir de seus princípios e critérios de certificação de produtos, uma base sólida para a EC. Assim, a organização proposta se beneficiaria ao incorporar a prática bem-sucedida da avaliação e certificação de produtos, estabelecendo uma ponte para sua aplicação em escala urbana. Para abranger a complexidade da EC em áreas urbanas e requerer o mínimo de futuras adaptações, requisitos e indicadores de outras abordagens foram incluídos, conectando práticas espaciais que geralmente operam isoladas, possibilitando o envolvimento de diversos atores para enfrentar os desafios de implementar a EC.

Quatro critérios, quinze categorias e possíveis indicadores identificados na RSL vinculam as diversas perspectivas do tema e fornecem uma organização metodológica inicial para implementação da EC em áreas urbanas. Certamente, esta estrutura inicial pode ser aprimorada e requer progressos contínuos. Os principais desafios incluem equilibrar a adaptação dos critérios e categorias às características locais, de modo a permitir sua transferência e adaptação a contextos diversos; gerenciar interações com regiões que extrapolem os limites projetuais; trabalhar ferramentas de governança e gestão que permitam a transição para a EC; fortalecer estruturas sociais que enfatizam o empoderamento dos cidadãos; e desenvolver uma visão integrada de longo prazo que

incorpore múltiplos agentes e a natureza. Neste sentido, estudos de casos bem-sucedidos já existentes e a coleta correspondente de dados desempenham um papel fundamental na avaliação de práticas e na orientação de novos trabalhos.

Por fim, é necessário refinar a estrutura proposta e futuramente desenvolver um *framework* que sugira indicadores próprios, que devem ser aprimorados, calibrados e complementados com padrões projetuais que descrevam as melhores práticas para áreas urbanas circulares.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento #88882.435514/2019-01.

Referências

AL-AZZAWI M. S. M.; GONDHALEKAR, D.; DREWES, J. E. Neighborhood-Scale Urban Water Reclamation with Integrated Resource Recovery for Establishing Nexus City in Munich, Germany: Pipe Dream or Reality? **Resources**, v. 11, n. 7, p. 64, July 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11070064>.

ANKRAH, N. A.; MANU, E.; BOOTH, C. Cradle to cradle implementation in business sites and the perspectives of tenant stakeholders. **Energy Procedia**, v. 83, p. 31-40, Dec. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.193>.

ASLA. AMERICAN SOCIETY OF LANDSCAPE ARCHITECTS. **Analysis and Planning**. 2010. Disponível em: <https://www.asla.org/2010awards/612.html>. Acesso em: 1 jan. 2017.

ATANASOVA, N.; CASTELLAR, J. A. AC.; PINEDA-MARTOS, R.; NILA, C. E. N.; KATSOU, E.; ISTENIČ, D.; PUCHER, B.; ANDREUCCI, M. B.; LANGERGRABER, G. Nature-Based Solutions and Circularity in Cities. **Circular Economy and Sustainability**, v. 1, p. 319-332, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00024-1>.

BAFFOUR AWUAH, K. G.; BOOTH, C. A. Integrated management framework for sustainable cities: Insights into multiple concepts and principles. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 191, p. 111-123, Sept. 2014. DOI: <https://doi.org/10.2495/SC140101>.

BÎRGOVAN, A. L. ; LAKATOS, E. S. ; SZILAGYI, A. ; CIOCA, L. I. ; PACURARIU, R. L. ; CIOBANU, G. ; RADA, E. C. How Should We Measure? A Review of Circular Cities Indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 9, p. 5177, Apr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095177>.

BOOTH, C. A.; OOSTING, A.; ANKRAH, N. ; HAMMOND, F. N. ; TANNAHILL, K. ; WILLIAMS, C. ; SMOLDERS, H. ; BRAAS, J. ; SCHEEPERS, L. ; KATRANI, A. ; VIRDEE, L. ; KADLECOVA, T. ; LEWALD, O. ; MESS, M. ; MERCKX, B. ; RENSON, M. ; COUSIN, A. ; CADORET, T. ; VERCOULEN, R. ; STARMANS, E. ; BER, A. Beyond sustainability: Cradle-to-cradle business innovation and improvement zones in NW Europe. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 155, p. 515-526, Sept. 2012. DOI: <https://doi.org/10.2495/SC120431>.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13-14, p. 1337-1348, Sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>.

CAVALEIRO DE FERREIRA, A.; FUSO-NERINI, F. A framework for implementing and tracking circular economy in cities: The case of Porto. **Sustainability**, v. 11, n. 6, p. 1-23, p. 10.3390, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU11061813>.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. **Estrategia Nacional de Economía Circular**. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019. Disponível em:

https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf. Acesso em: 1 set. 2022.

CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE. **Cradle to Cradle Certified®**. 2020. Disponível em: <http://www.c2ccertified.org/the-standard>. Acesso em: 16 out. 2023.

DE MEDICI, S.; RIGANTI, P.; VIOLA, S. Circular economy and the role of universities in urban regeneration: The case of Ortigia, Syracuse. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 10.3390, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10114305>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Delivering the circular economy: a toolkit for policymakers**. 2015. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-toolkit-for-policymakers>. Acesso em: 16 ago. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Schools of thought that inspired the circular economy**. [201-?]. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/schools-of-thought>. Acesso em: 17 dez. 2020.

EU. EUROPEAN UNION. **Amsterdam Circular 2020-2025 Strategy**. Amsterdam, 2020. Disponível em: <https://projects2014-2020.interregeurope.eu/rumore/news/news-article/8759/amsterdam-circular-strategy-2020-2025/>. Acesso em: 1 dez. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy**. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Brussels, 2015. 21 p. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 20 out. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **The EU Circular Economy Action Plan**. Brussels, 2020. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9dc6aa01-39d2-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en>. Acesso em: 1 dez. 2020.

FERRETTI, R. Mais de 90% da população brasileira viverão em cidades em 2030. Brasília: Agência Brasil, 2016. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-10/mais-de-90-da-populacao-brasileira-vivera-em-cidades-em-2030>. Acesso em: 9 maio 2021.

GIEZEN, M. Shifting infrastructure landscapes in a circular economy: An institutional work analysis of the water and energy sector. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 10.3390, Sept. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10103487>.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Keele: Keele University, 2004. 33 p.

LAKATOS, E. S.; YONG, G.; SZILAGYI, A.; CLINCI, D. S.; GEORGESCU, L.; ITICESCU, C.; CIOCA, L.-I. Conceptualizing core aspects on circular economy in cities. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 1-21, July 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13147549>.

LANGERGRABER, G.; PUCHER, B.; SIMPERLER, L.; KISSER, J.; KATSOU, E.; BUEHLER, D.; MATEO, M. C. M.; ATANASOVA, N. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. **Blue-Green Systems**, v. 2, n. 1, p. 173-185, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.933>.

LWARB. LONDON WASTE AND RECYCLING BOARD. **London's Circular Economy route map**. London: LWARB, 2017. 60 p. Disponível em: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/strategy_-_londons-ce-route-map.pdf. Acesso em: 1 maio 2022.

MARIN, J.; DE MEULDER, B. Interpreting circularity. Circular city representations concealing transition drivers. **Sustainability**, v. 10, n. 5, p. 1310, Apr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051310>.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. New York: North Point, 2002. 193 p.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Urban world: Cities and the rise of the consuming class**. 2012. Disponível em: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20of%20functions/operations/our%20insights/urban%20world%20cities%20and%20the%20rise%20of%20the%20consuming%20class/mgi_urban_world_rise_of_the_consuming_class_full_report.pdf. Acesso em: 1 maio 2019.

MULHALL, D.; BRAUNGART, M. Cradle to Cradle criteria for the built environment. **Ekonomiaz: Revista vasca de Economía**, v. 75, n. 4, p. 182-193, 2010.

NHAMO, L.; RWIZI, L.; MPANDELI, S.; BOTAI, J.; MAGIDI, J.; TAZVINGA, H.; SOBRATEE, N.; LIPHADZI, S.; NAIDOO, D.; MODI, A. T.; SLOTOW, R.; MABHAUDHI, T. Urban nexus and transformative pathways towards a resilient Gauteng City-Region, South Africa. **Cities**, v. 116, p. 103266, Sept. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103266>.

OBERSTEG, A.; ARLATI, A.; ACKE, A.; BERRUTI, G.; CZAPIEWSKI, K.; DABROWSKI, M.; HEURKENS, E.; MEZEI, C.; PALESTINO, M. F.; VARJÚ, V.; WÓJCIK, M.; KNIOLING, J. Urban regions shifting to circular economy: Understanding challenges for new ways of governance. **Urban Planning**, v. 4, n. 3, p. 19-31, Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.17645/up.v4i3.2158>.

OIA. O INSTITUTO AMBIENTAL. O. Instituto. Ambiental: “O meio ambiente não tem classe social. O benefício é para todos.” São Paulo: OIA, 2021. Disponível em: <https://oinstitutoambiental.com.br/>. Acesso em: 4 set. 2022.

PAIHO, S.; WESSBERG, N.; PIPPURI-MÄKELÄINEN; MÄKI, E.; SOKKA, L.; PARVIAINEN, T.; NIKINMAA, M.; SIIKAVIRTA, H.; PAAVOLA, M.; ANTIKAINEN, M.; HEIKKILÄ, J.; HAJDUK, P.; LAURIKKO, J. Creating a Circular City: An analysis of potential transportation, energy and food solutions in a case district. **Sustainable Cities and Society**, v. 64, p. 102529, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102529>.

PEARLMUTTER, D.; THEOCHARI, D.; ENEHLS, T.; PINHO, P.; PIRO, P.; KOROLOVA, A.; PAPAETHIMIOU, S.; GARCIA MATEO, M. C.; CALHEIROS, C.; ZLUWA, I.; PITHA, U.; SCHOSSELER, P.; FLORENTIN, Y.; OUANNOU, S.; GAL, E.; AICHER, A.; ARNAOLD, K.; IGONDOVÁ, E.; PUCHER, B. Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites. **Blue-Green Systems**, v. 2, n. 1, p. 46-72, Dec. 2019. <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>.

PELOROSSO, R.; GOBATTONI, F.; LEONE, A. The low-entropy city: A thermodynamic approach to reconnect urban systems with nature. **Landscape and Urban Planning**, v. 168, p. 22-30, Oct. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.002>.

PIEZER, K.; PETIT-BOIX, A.; SANJUAN-DELMÁS, D.; BRIESE, E.; CLELIK, I.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X.; JOSA, A.; APUL, D. Ecological network analysis of growing tomatoes in an urban rooftop greenhouse. **Science of the Total Environment**, v. 651, pt. 1, p. 1495-1504, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.293>.

PRENDEVILLE, S.; CHERIM, E.; BOCKEN, N. Circular Cities: Mapping Six Cities in Transition. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 26, p. 171-194, Mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2017.03.002>.

RAMÍREZ, L. J. **¿Qué son los ecobarrios?: Apuesta del Distrito para reverdecer a Bogotá**. 2022. Disponível em: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/que-son-los-ecobarrios-de-bogota-y-como-ayudan-al-medioambiente>. Acesso em: 27 set. 2022.

SALA BENITES, H.; OSMOND, P.; PRASAD, D. A neighborhood-scale conceptual model towards regenerative circularity for the built environment. **Sustainable Development**, v. 31, n. 3, p. 1748-1767, Dec. 2022. <https://doi.org/10.1002/sd.2481>.

SÁNCHEZ LEVOSO, A.; GASOL, C. M.; MARTÍNEZ-BLANCO, J.; DURANY, X. G.; LEHMANN, M.; GAYA, R. F. Methodological framework for the implementation of circular economy in urban systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119277, Mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119277>.

SZYBA, M.; MIKULIK, J. Management of Biodegradable Waste Intended for Biogas Production in a Large City. **Energies**, v. 16, n. 10, p. 10.3390, May 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16104039>.

UN. UNITED NATIONS. ENVIRONMENT PROGRAMME. **Economia circular na América Latina e no Caribe: uma visão compartilhada**. 2022. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/5fhm4nyvnopb-e44rhq/@/preview/3>. Acesso em: 27 set. 2022.

UN. UNITED NATIONS. HABITAT. **Cities and climate change**. 2013. Disponível em: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change#:~:text=At%20the%20same%20time%2C%20cities,being%20among%20the%20largest%20contributors>. Acesso em: 4 jul. 2023.

UN. UNITED NATIONS. **68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN**. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 26 fevereiro 2024.

VALENCIA, A.; ZHANG, W.; CHANG, N.-B. Sustainability transitions of urban food-energy-water-waste infrastructure: A living laboratory approach for circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 105991, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105991>.

WILLIAMS, J. Circular cities. **Urban Studies**, v. 56, n. 13, p. 2746-2762, Jan. 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098018806133>.

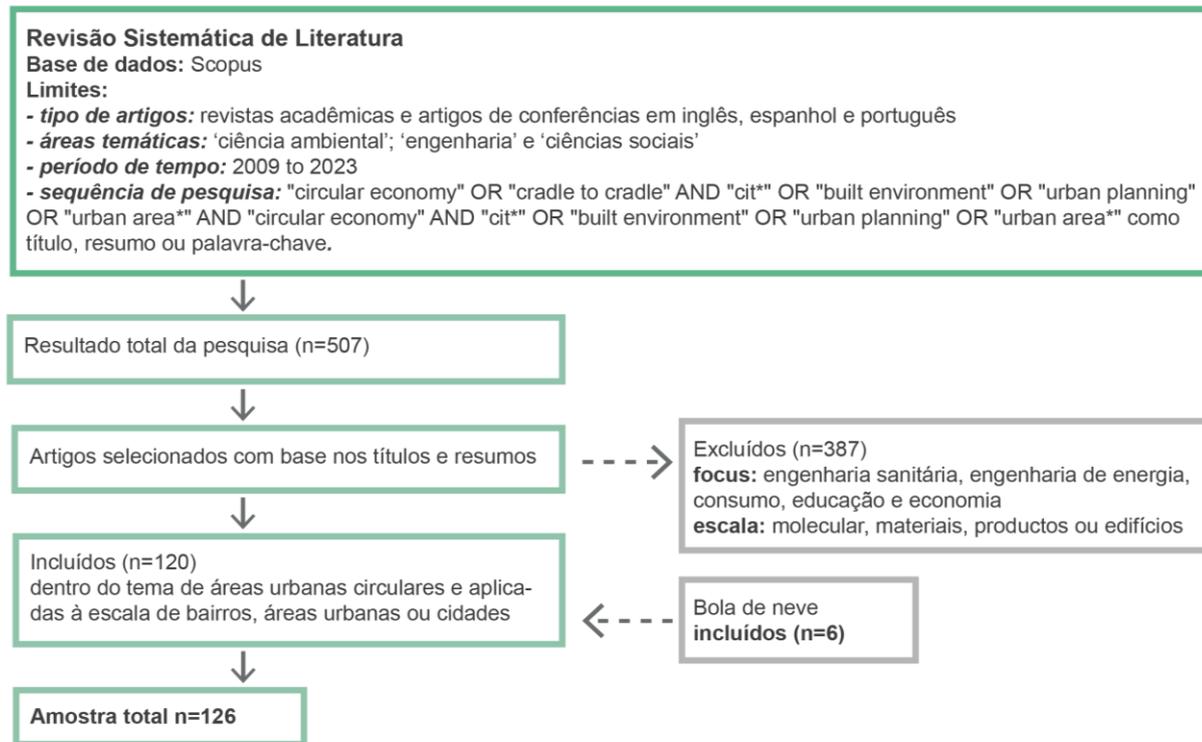
WILLIAMS, J. Circular cities: Challenges to implementing looping actions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 2, p. 10.3390, Jan. 2019a. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11020423>.

XUE, J.; LIU, G.; CASAZZA, M.; ULGIATI, S. Development of an urban FEW nexus online analyzer to support urban circular economy strategy planning. **Energy**, v. 164, p. 475-495, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.198>.

APÊNDICE A – Protocolo da Revisão Sistemática de Literatura

O método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL), baseado nos Procedures for Performing Systematic Review de Kitchenham (2004), foi empregado para elucidar as tendências do tema no contexto teórico atual relacionadas ao tema em questão (Figura 5).

Figura 5. Protocolo da Revisão Sistemática de Literatura



Fonte: as autoras.

Para isto, a amostra inicial de artigos foi analisada, utilizando como base de três questões principais de pesquisa:

- Como a EC tem sido aplicada no contexto do planejamento e gestão urbana?
- Quais são as tendências predominantes no debate acadêmico sobre a circularidade nas áreas urbanas?
- Quais categorias e indicadores têm sido empregados para avaliar áreas urbanas circulares, e de que forma estão sendo implementados?

Para responder a estas perguntas, utilizou-se a base de dados Scopus, em setembro de 2023. A opção pela Scopus foi motivada pelo fato de ser uma das bases de dados mais completas do campo. Foi aplicada a seguinte sequência de pesquisa: “circular economy” OR “cradle to cradle” AND “cit*” OR “built environment” OR “urban planning” OR “urban area*” como título, resumo ou palavra-chave. Incluímos nos resultados apenas artigos de revistas acadêmicas e artigos de conferência escritos em inglês, espanhol ou português. Adicionalmente, a amostra foi restringida aos artigos que aplicam ao menos uma das seguintes palavras-chave: ‘circular economy’; ‘urban area’; ‘cities’; e ‘urban planning’, às subáreas “ciências ambientais”, “engenharia” e “ciências sociais” e que estão em estágio final de publicação. Como resultado, nesta amostra inicial compreendeu 507 artigos.

Destes 507 artigos, a filtragem por títulos e resumos reteve artigos dentro do tema de ‘áreas urbanas circulares’ e que trabalharam com escalas de bairros, cidades ou áreas urbanas, reduzindo a amostra para uma lista final de 120 artigos (Quadro 1). Na sequência,

analisamos os 120 artigos de acordo com o seu entendimento de EC, e como os autores estão implementando os seus critérios em áreas urbanas, levantando os requisitos, indicadores, estudos de caso existentes e métodos utilizados para sua observação e monitoramento. Finalmente, para aprofundar a compreensão sobre o tema, complementamos a amostra utilizando a técnica "bola de neve", adicionando referências bibliográficas relevantes para a pesquisa.

Por meio da técnica "bola-de-neve", foram incorporados seis documentos específicos que oferecem diretrizes e estratégias para a implementação da EC em áreas urbanas e regiões (Quadro 2): dois documentos institucionais que delineiam a estratégia de implementação da EC em duas cidades pioneiras - Amsterdam (EU, 2020) e Londres (LWARB, 2017); um documento institucional orientativo relacionado à estratégia da EC na Europa (European Commission, 2015); um documento contendo as diretrizes das Nações Unidas para o desenvolvimento de cidades diante das mudanças climáticas (UN, 2013); um documento voltado a elaboradores de políticas (Ellen Macarthur Foundation, 2015); e um artigo que explora a aplicação da metodologia *Cradle to Cradle* no contexto do ambiente construído (Mulhall; Braungart, 2010).

Quadro 1 – Artigos selecionados da amostra da RSL, separadas de acordo com as ênfases conceituais, conforme descrito na Figura 1

ÊNFASE 1: FLUXOS DE RECURSOS ESPECÍFICOS		
Numeração (RSL)	Título	Autor(es)
1	Circularity information platform for the built environment	YU, Y. <i>et al.</i> (2023)
2	Evaluation of harvesting urban water resources for sustainable water management: Case study in Filton Airfield, UK	KIM, J.E.; HUMPHREY, D.; HOFMAN, J. (2023)
3	Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city	FERRONATO, N. <i>et al.</i> (2023)
4	Green waste to green architecture: optimizing urban tree systems for renewable construction material supply chains	DICKINSON, S.; DIMOND, K.; LI, S. (2023)
5	Circular economy and waste management to empower a climate-neutral urban future	MÖSLINGER, M.; ULPANI, G.; VETTERS, N. (2023)
6	Circularity in cities: A comparative tool to inform prevention of plastic pollution	MADDALENE, T. <i>et al.</i> (2023)
7	Advancing the Application of a Multidimensional Sustainable Urban Waste Management Model in a Circular Economy in Mexico City	NIEVES, A. J.; RAMOS G. C. D. (2023)
8	Are Rainwater and Stormwater Part of the Urban CE Efficiency?	NOVAES, C.; MARQUES, R. (2023)
9	Sustainability assessment of increased circularity of urban organic waste streams	DDIBA, D. <i>et al.</i> (2022)
10	Creating careful circularities: Community composting in New York City	MORROW, O.; DAVIES, A. (2022)
11	In support of circular economy to evaluate the effects of policies of construction and demolition waste management in three key cities in Yangtze River Delta	YU, S. <i>et al.</i> (2022)
12	Waste Landscape: Urban Regeneration Process for Shared Scenarios	SPINA, L. D.; GIORNO, C. (2022)
13	Surveying the building stock of Graz with regard to a circular economy in the construction sector	HAUSEGGER, B. <i>et al.</i> (2022)
14	Retaining and recycling water to address water scarcity in the City of Cape Town	VAN ZYL, A.; JOOSTE, J. L. (2022)
15	Circular utilization of urban tree waste contributes to the mitigation of climate change and eutrophication	LAN, K; ZHANG, B.; YAO, Y. (2022)
16	THE STATE OF THE CIRCULAR ECONOMY: Waste Valorization in Hong Kong and Rotterdam	WILDEBOER, V.; SAVINI, F. (2022)
17	Food system transformation for sustainable city-regions: exploring the potential of circular economies	LEVER, J.; SONNINO, R. (2022)
18	Building a model for the predictive improvement of air quality in Circular Smart cities	NUNEZ-CACHO, P. <i>et al.</i> (2022)
19	Assessing water circularity in cities: Methodological framework with a case study	ARORA, M. <i>et al.</i> (2022)
20	Integrated model and index for circular economy in the built environment in the indian context	SMITHA, J. S.; THOMAS, A. (2021)
21	Stocks and flows of buildings: Analysis of existing, demolished, and constructed buildings in Tampere, Finland, 2000–2018	HUUHKA, S.; KOLKOWITZ, M. (2021)
22	Managing a circular food system in sustainable urban farming. Experimental research at the turku university campus (finland)	ERÄLINNA, L.; SZYMONIUK, B. (2021)

23	Inflows and outflows from material stocks of buildings and networks and their space-differentiated drivers: The case study of the paris region	AUGISEAU, V.; KIM, E. (2021)
24	Combining LCA and circularity assessments in complex production systems: the case of urban agriculture	RUFÍ-SALÍS, M. <i>et al.</i> (2021)
25	Knock on wood: Business models for urban wood could overcome financing and governance challenges faced by nature-based solutions	KAMPELMANN, S. (2021)
26	Adaptive re-use of urban cultural resources: Contours of circular city planning	GRAVAGNUOLO, A. <i>et al.</i> (2021)
27	Developing an Urban Resource Cadaster for Circular Economy: A Case of Odense, Denmark	LANAU, M.; LIU, G. (2020)
28	Analysis of wastewater production to implement circular economy solutions in a smart cities university campus living lab	AGUILAR, M. G. S. <i>et al.</i> (2019)
29	The management of municipal waste through circular economy in the context of smart cities development	ACELEANU, M. I. <i>et al.</i> (2019)
30	Ecological network analysis of growing tomatoes in an urban rooftop greenhouse	PIEZER, K. <i>et al.</i> (2019)
31	Edible City Solutions—One Step Further to Foster Social Resilience through Enhanced Socio-Cultural Ecosystem Services in Cities	SÄUMEL, I. <i>et al.</i> (2019)
32	Beyond wastescapes: Towards circular landscapes. addressing the spatial dimension of circularity through the regeneration of wastescapes	AMENTA, L.; VAN TIMMEREN, A. (2018)
ÊNFASE 2: INTEGRAÇÃO FLUXOS PARA CICLAGEM DE RECURSOS		
33	Management of Biodegradable Waste Intended for Biogas Production in a Large City	SZYBA, M.; MIKULIK, J. (2023)
34	The potential of local food, energy, and water production systems on urban rooftops considering consumption patterns and urban morphology	TOBOSO-CHAVERO, S. <i>et al.</i> (2023)
35	A Study on the Parametric Design Parameters That Influence Environmental Ergonomics and Sustainability	LÓPEZ-LÓPEZ, D. <i>et al.</i> (2023)
36	The role of citizens and transformation of energy, water, and waste infrastructure for an	RODRIGUES, M.; FRANCO, M. (2023)
37	Evaluation of urban metabolism assessment methods through SWOT analysis and analytical hierocracy process	VOUKKALI, I.; ZORPAS, A. A. (2022)
38	Neighborhood-Scale Urban Water Reclamation with Integrated Resource Recovery for Establishing Nexus City in Munich, Germany: Pipe Dream or Reality?	AL-AZZAWI, M. S. M.; GONDHALEKAR, D.; DREWES, J. E. (2022)
39	Sustainability transitions of urban food-energy-water-waste infrastructure: A living laboratory approach for circular economy	VALENCIA, A.; ZHANG, W.; CHANG, N.-B. (2022)
40	Potential Nutrient Conversion Using Nature-Based Solutions in Cities and Utilization Concepts to Create Circular Urban Food Systems	WIRTH, M. <i>et al.</i> (2021)
41	A framework for addressing circularity challenges in cities with nature-based solutions	LANGERGRABER, G. <i>et al.</i> (2021)
42	Urban nexus and transformative pathways towards a resilient Gauteng City-Region, South Africa	NHAMO, L. <i>et al.</i> (2021)
43	Nature-Based Solutions and Circularity in Cities	ATANASOVA, N. <i>et al.</i> (2021)
44	Creating a Circular City—An analysis of potential transportation, energy and food solutions in a case district	PAIHO, S. <i>et al.</i> (2021)
45	Analysing material and embodied environmental flows of an Australian university — Towards a more circular economy	STEPHAN, A. <i>et al.</i> (2020)
46	Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites	PEARLMUTTER, D. <i>et al.</i> (2019)
47	Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city	LANGERGRABER, G. <i>et al.</i> (2020)
48	Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level	ZELLER, V. <i>et al.</i> (2019)
49	Development of an urban FEW nexus online analyzer to support urban circular economy strategy planning	XUE, J.; LIU, G.; CASAZZA, M.; ULGIATI, S. (2018)
50	Enhanced Performance of the Eurostat Method for Comprehensive Assessment of Urban Metabolism	VOSKAMP, I. M. <i>et al.</i> (2017)
51	Wallasea Island Wild Coast Project, UK: Circular economy in the built environment	CROSS, M. (2017)
52	Amsterdam as a sustainable European metropolis: integration of water, energy and material flows	VAN DER HOEK, J. P.; STRUKER, A.; DE DANSCHUTTER, J. E. M. (2017)
53	Research on evaluation of sustainable land use of resource-based city based on circular economy- A case study of shuozhou city	ZHOU, L.; YUAN, C.; WU, Y. (2014)
ÊNFASE 3: PLANEJAMENTO E GOVERNANÇA NA TRANSIÇÃO		
54	Sustainable circular cities? Analysing urban circular economy policies in Amsterdam, Glasgow, and Copenhagen	FRIANT, M. C. <i>et al.</i> (2023)
55	Circular economy adoption barriers in built environment- a case of emerging economy	MHATRE, P. <i>et al.</i> (2023)
56	Ex ante analysis of circular built environment policy coherence	ANCAPI, F. B. (2023)

57	Sustainable housing at a neighbourhood scale	DÜHR, S.; BERRY, S.; MOORE, T. (2023)
58	The rising phenomenon of circular cities in Japan. Case studies of Kamikatsu, Osaki and Kitakyushu	HERRADOR, M. (2023)
59	Smart Circular Cities: Governing the Relationality, Spatiality, and Digitality in the Promotion of Circular Economy in an Urban Region	ANTTIROIKO, A. V. (2023)
60	Digitalisation driven urban metabolism circularity: A review and analysis of circular city initiatives	D'AMICO, G. <i>et al.</i> (2022)
61	Challenges to implementing circular development—lessons from London	WILLIAMS, J. (2022)
62	Make it a circular city: Experiences and challenges from European cities striving for sustainability through promoting circular making	COSKUN, A. <i>et al.</i> (2022)
63	Transdisciplinary resource monitoring is essential to prioritize circular economy strategies in cities	PETIT-BOIX, A. <i>et al.</i> (2022)
64	Circular Economy for Cities and Sustainable Development: The Case of the Portuguese City of Leiria	ANTUNES, J. C. C.; EUGÉNIO, T.; BRANCO, M. C. (2022)
65	Space Matters: Barriers and Enablers for Embedding Urban Circularity Practices in the Brussels Capital Region	VERGA, G. C.; KHAN, A. Z. (2022)
66	Circular cities: What are the benefits of circular development?	WILLIAMS, J. (2021)
67	Agency in circular city ecosystems—A rationalities perspective	HIRVENSAALO, A. <i>et al.</i> (2021)
68	Mapping and assessing indicator-based frameworks for monitoring circular economy development at the city-level	PAPAGEORGIOU, A. <i>et al.</i> (2021)
69	The lack of social impact considerations in transitioning towards urban circular economies: a scoping review	VANHUYSE, F. <i>et al.</i> (2021)
70	Transition to smart and regenerative urban places (SRUP): Contributions to a new conceptual framework	PEPONI, A.; MORGADO, P. (2021)
71	Transition to smart and regenerative urban places (SRUP): Contributions to a new conceptual framework	PEPONI, A.; MORGADO, P. (2021)
72	Governing the Circular Economy in the City: Local Planning Practice in London	TURCU, C.; GILLIE, H. (2020)
73	Multidimensional assessment for "culture-led" and "community-driven" urban regeneration as driver for trigger economic vitality in urban historic centers	SPINA, L. D. (2019)
74	City level circular transitions: Barriers and limits in Amsterdam, Utrecht and The Hague	CAMPBELL-JOHNSTON, K. <i>et al.</i> (2019)
75	Circular economy in sustainable development of cities	SOBOL, A. (2019)
76	IDEAL-CITIES - A trustworthy and sustainable framework for circular smart cities	ANGELOPOULOS, C. M. <i>et al.</i> (2019)
77	The circular economy approach in cities: An evaluation of municipal measures in Brussels	LICA, I. M. (2019)
78	Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation	CORCELLI, F. <i>et al.</i> (2019)
79	Urban regions shifting to circular economy: Understanding challenges for new ways of governance	OBERSTEG, A. <i>et al.</i> (2019)
80	Barriers and drivers in a circular economy: The case of the built environment	HART, J. <i>et al.</i> (2019)
81	Including Urban Metabolism Principles in Decision-Making: A Methodology for Planning Waste and Resource Management	LONGATO, D. <i>et al.</i> (2019)
82	Managing anaerobic digestate from food waste in the urban environment: Evaluating the feasibility from an interdisciplinary perspective	FULDAUER, L. I. <i>et al.</i> (2018)
83	Design evolution and innovation for tropical liveable cities: Towards a circular economy	FLEISCHMANN, K. (2018)
84	Social-Ecological-Technical systems in urban planning for a circular economy: an opportunity for horizontal integration	VAN DER LEER, J.; VAN TIMMEREN, A.; WANDL, A. (2018)
85	Carbon footprints of urban transition: Tracking circular economy promotions in Guiyang, China	FANG, K. <i>et al.</i> (2017)
ÊNFASE 4: CONCEITUAÇÃO DE ÁREAS URBANAS CIRCULARES		
86	A neighbourhood-scale conceptual model towards regenerative circularity for the built environment	BENITES, H. S.; OSMOND, P.; PRASAD, D. (2023)
87	A Future-Proof Built Environment through Regenerative and Circular Lenses—Delphi Approach for Criteria Selection	BENITES, H. S.; OSMOND, P.; PRASAD, D. (2023)
88	Sustainability transitions to circular cities: Experimentation between urban vitalism and mechanism	WINSLOW, J.; COENEN, L. (2023)
89	Visions of cities beyond the Green Deal: From imagination to reality	MAGLIO, M. (2022)
90	Embedding Circular Economy Principles into Urban Regeneration and Waste Management: Framework and Metrics	DOMENECH, T.; BORRION, A. (2022)
91	The Global Movement of the Transition from Linear Production to the Circular Economy Applied to the Sustainable Development of Cities	DA SILVA, C. L.; FRANZ, N. M. (2022)
92	Assessing the Inclusion of Water Circularity Principles in Environment-Related City Concepts Using a Bibliometric Analysis	MIRANDA, A. C. <i>et al.</i> (2022)

93	Mapping sustainability and circular economy in cities: Methodological framework from Europe to the Spanish case	ALONSO, I. B.; SÁNCHEZ-RIVERO, M. V.; POZAS B. M. (2022)
94	How shall we start? The importance of general indices for circular cities in Indonesia	NURDIANA, J.; FRANCO-GARCIA, M. L.; HELDEWEG, M. A. (2021)
95	Match Circular Economy and Urban Sustainability: Re-investigating Circular Economy Under Sustainable Development Goals (SDGs)	DONG, L.; LIU, Z.; BIAN, Y. (2021)
96	Conceptualizing core aspects on circular economy in cities	LAKATOS, E. S. <i>et al.</i> (2021)
97	Evaluating circular economy performance based on ecological network analysis: A framework and application at city level	GAO, H. <i>et al.</i> (2021)
98	Seeking circularity: Circular urban metabolism in the context of industrial symbiosis	FEIFERYTĖ-SKIRIENĖ, A.; STASIŠKIENĖ, Ž. (2021)
99	Toward the construction of a circular economy eco-city: An emergy-based sustainability evaluation of Rizhao city in China	LI, J. <i>et al.</i> (2021)
100	Implementing a new human settlement theory: Strategic planning for a network of regenerative villages	LIAROS, S. (2020)
101	The role of spatial planning in transitioning to circular urban development	WILLIAMS, J. (2020)
102	Circular cities: the case of Singapore	CARRIÈRE, S. <i>et al.</i> (2020)
103	Towards circular cities—Conceptualizing core aspects	PAIHO, S. <i>et al.</i> (2021)
104	Combining Industrial Symbiosis with Sustainable Supply Chain Management for the Development of Urban Communities	ROSADO, L.; KALMYKOVA, Y. (2019)
105	Moving towards the circular economy/city model: Which tools for operationalizing this model?	GIRARD, L. F.; NOCCA, F. (2019)
106	Circular Cities: Challenges to Implementing Looping Actions	WILLIAMS, J. (2019)
107	Circular Cities	WILLIAMS, J. (2019)
108	Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework	GRAVAGNUOLO, A.; ANGRISANO, M.; GIRARD, L. F. (2019)
109	A framework for implementing and tracking circular economy in cities: The case of Porto	CAVALEIRO DE FERREIRA, A. C.; FUSO-NERINI, F. (2019)
110	Approach to urban metabolism of Almassora municipality, Spain, as a tool for creating a sustainable city	CHOFRE, I. L.; GIELEN, E.; JIMÉNEZ, J. S. P. (2018)
111	Evaluation of Urban circular economy development: An empirical research of 40 cities in China	WANG, N. <i>et al.</i> (2018)
112	Interpreting Circularity. Circular City Representations Concealing Transition	MARIN, J.; DE MEULDER, B. (2018)
113	Circular Cities: Mapping 6 cities in transition	PRENDEVILLE, S.; CHERIM, E.; BOCKEN, N. (2018)
114	Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model	NESS, D. A.; XING, K. (2017)
115	The low-entropy city: A thermodynamic approach to reconnect urban systems with nature	PELOROSSO, R.; GOBATTONI, F.; LEONE, A. (2017)
116	Planning framework of the circular economy eco-city	DU, Z. (2016)
117	Integrated management framework for sustainable cities: Insights into multiple concepts and principles	AWUAH, K. G. B.; BOOTH (2014)
118	Activating eco-city in China: The system engineering for cities' green transition	WANG, X.J. <i>et al.</i> (2011)
119	Beyond sustainability: Cradle-to-cradle business innovation and improvement zones in NW Europe	BOOTH, C.A. <i>et al.</i> (2012)

Fonte: as autoras.

Quadro 2– Artigos levantados a partir da técnica ‘bola de neve’

BOLA DE NEVE		
Numeração (RSL)	Título	Autor(es)
120	Amsterdam Circular 2020-2025 Strategy	EU (2020)
121	Cities and climate change	UN (2013)
122	Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy	EUROPEAN COMMISSION (2015)
123	Criterios ‘Cradle to Cradle’ para el entorno construido	MULHALL, D.; BRAUNGART, M. (2010)
124	Delivering the circular economy: a toolkit for policymakers	ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015)
125	London’s Circular Economy route map	LWARB (2017)

Fonte: as autoras.

APÊNDICE B – ARTIGOS DA ÊNFASE 1 AGRUPADOS DE ACORDO COM ABORDAGEM DOS FLUXOS DE RECURSOS

Quadro 3 – Agrupamento dos textos da ênfase 1 de acordo com abordagem dos fluxos de recursos

Fluxo de recurso	Referências Bibliográficas
Água	KIM, J. E.; HUMPHREY, D.; HOFMAN, J. (2023); NOVAES, C.; MARQUES, R. (2023); VAN ZYL, A.; JOOSTE, J. L. (2022); ARORA, M. <i>et al.</i> (2022); AGUILAR, M. G. S. <i>et al.</i> (2019)
Resíduos Municipais	FERRONATO, N. <i>et al.</i> (2023); MÖSLINGER, M.; ULPIANI, G.; VETTERS, N. (2023); NIEVES, A. J.; RAMOS, G. C. D. (2023); WILDEBOER, V.; SAVINI, F. (2022); ACELEANU, M. I. <i>et al.</i> (2019)
Material de construção/ Estoque construtivo	YU, Y. <i>et al.</i> (2023); FERRONATO, N. <i>et al.</i> (2023); YU, S. <i>et al.</i> (2022); HAUSEGGER, B. <i>et al.</i> (2022); SMITHA, J. S.; THOMAS, A. (2021); HUUHKA, S.; KOLKWITZ, M. (2021); AUGISEAU, V.; KIM, E. (2021); LANAU, M.; LIU, G. (2020)
Resíduos orgânicos municipais/ compostagem/ produção de alimentos	DICKINSON, S.; DIMOND, K.; LI, S. (2023); DDIBA, D. <i>et al.</i> (2022); MORROW, O.; DAVIES, A. (2022); LEVER, J.; SONNINO, R. (2022); ERÄLINNA, L.; SZYMONIUK, B. (2021); RUFÍ-SALÍS, M. <i>et al.</i> (2021); PIEZER, K. <i>et al.</i> (2019); SÁUMEL, I. <i>et al.</i> (2019)
Resíduos de árvores urbanas/ madeira urbana	LAN, K; ZHANG, B.; YAO, Y. (2022); KAMPELMANN, S. (2021)
Uso e ocupação do solo	SPINA, L. D.; GIORNO, C. (2022); AMENTA, L.; VAN TIMMEREN, A. (2018)
Poluição de plásticos	MADDALENE, T. <i>et al.</i> (2023)
Qualidade do ar	NUNEZ-CACHO, P. <i>et al.</i> (2022)
Energia	MÖSLINGER, M.; ULPIANI, G.; VETTERS, N. (2023); NOVAES, C.; MARQUES, R. (2023)
Patrimônio Cultural	GRAVAGNUOLO, A. <i>et al.</i> (2021)

Fonte: as autoras.

APÊNDICE C – ADEQUAÇÃO DOS CRITÉRIOS C2C DA CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS PARA A ESCALA URBANA

Quadro 4. Adequação do critério C2C ‘Ar Limpo e Proteção Climática’ da certificação de produtos para a escala urbana

Princípios C2C McDonough e Braungart (2002)	Crítérios C2C para produtos industriais (adaptado de Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020)	Adequação dos critérios C2C para escala urbana (as autoras)	Categorias de aplicação de áreas urbanas circulares (as autoras)
Usar a Fonte Solar Ilimitada	Ar Limpo e Proteção Climática	Energia Limpa e Renovável, Ar saudável e Proteção climática	
	A fabricação de um produto deve resultar em um impacto positivo na qualidade do ar, no abastecimento de energia renovável e no equilíbrio de gases de efeito estufa que afetam o clima, através da energia limpa e proteção do meio ambiente.	Áreas urbanas circulares têm o potencial de exercer um impacto benéfico no abastecimento de energia ao promover o uso de fontes de energia limpa e renovável, ao evitar perdas energéticas e emissões de poluentes gasosos, e ao manter a energia em ciclos de alta qualidade. Em um cenário ideal, estas áreas urbanas podem não apenas atender às suas próprias necessidades energéticas a partir de fontes limpas e renováveis, mas também exceder este consumo, disponibilizando o excedente para as comunidades locais ou reintegrando-o à rede elétrica. Adicionalmente, áreas urbanas circulares devem priorizar a gestão responsável das emissões de poluentes, garantindo a manutenção de uma alta qualidade do ar, e conforto térmico e acústico para seus habitantes. Torna-se fundamental otimizar a captação de luz solar, assegurar uma ventilação adequada, além de promover sistemas de transporte público de alta qualidade e fomentar a mobilidade a pé.	Energia Limpa e Renovável: trabalha a eficiência energética e geração de energia proveniente de fontes limpas e renováveis. Proteção do Clima e Ar Saudável: aborda o controle de emissões e mobilidade sustentável.

Fonte: as autoras.

Quadro 5. Adequação dos critérios C2C ‘Saúde dos Materiais’ e ‘Circularidade do Produto’ da certificação de produtos para a escala urbana

Princípios C2C McDonough e Braungart (2002)	Crítérios C2C para produtos industriais (adaptado de Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020)	Adequação dos critérios C2C para escala urbana (as autoras)	Categorias de aplicação de áreas urbanas circulares (as autoras)
Resíduos São Alimentos	Saúde dos Materiais	Saúde e Circularidade dos Fluxos de Materiais	
	Para garantir que os materiais sejam seguros para seres humanos e o meio ambiente, os produtos químicos e materiais utilizados em produtos são selecionados com prioridade para a proteção da saúde humana e do meio ambiente. Desta forma, é possível gerar um impacto positivo na qualidade dos materiais disponíveis em futuros ciclos.	Áreas urbanas circulares devem assegurar a circulação contínua de nutrientes em sistemas saudáveis dentro de ciclos biológicos e técnicos. Para isto, ressalta-se a importância do consumo consciente dos cidadãos e a efetiva gestão municipal de resíduos, com a implementação de sistemas de informação, coleta e destinação desses materiais. Fomentar o fluxo de nutrientes biológicos saudáveis nas áreas urbanas implica em devolver estes nutrientes de maneira apropriada ao solo, criando valor a partir de resíduos orgânicos sólidos e minimizando o desperdício de alimentos. Estas ações estão associadas à redução das distâncias percorridas na produção de alimentos de qualidade e à inclusão da população, incentivando a sua participação em outros setores da bioeconomia. A integração de áreas urbanas na EC também engloba os fluxos de materiais relacionados ao ciclo técnico, uma vez que as cidades são as maiores consumidoras de produtos industriais. As áreas urbanas podem implementar e facilitar sistemas de reutilização, reparo, remanufatura e reciclagem de produtos e materiais técnicos. Destaca-se, ainda, o potencial do setor da construção civil, que tem grandes impactos ambientais causados pelo modelo linear atual, mas também amplas possibilidades regenerativas para a transição circular. Os novos edifícios devem ser concebidos com a premissa do reaproveitamento de seus materiais em ciclos posteriores. Isto implica na adoção de sistemas construtivos modulares	Fluxo de Nutrientes Biológicos Saudáveis: inclui a produção local de alimentos e gestão de resíduos orgânicos. Fluxo de Nutrientes Técnicos Saudáveis: trabalha a recirculação de materiais provenientes de cadeias produtivas da esfera técnica. Construção Civil: abarca a manutenção e o reuso do estoque existente de edifícios, bem como o desmembramento de sistemas construtivos, componentes e materiais projetados para futuros ciclos. Consumo e Gestão de Resíduos Municipais: aborda a redução de consumo para a não geração de resíduos, a separação de resíduos domésticos e a sua destinação.
	Circularidade do produto		
Para viabilizar uma EC por meio do design de produtos e processos, estes devem ser deliberadamente			

	projetados para facilitar seu próximo uso e serem ativamente reintegrados em seus respectivos caminhos dentro de ciclos técnicos e biológicos planejados.	e desmontáveis, possibilitando a reutilização de componentes em novos projetos. Além disto, é fundamental estender ao máximo o estoque existente de edifícios, promovendo reformas e adaptações que valorizem e prolonguem seu uso.	
--	---	---	--

Fonte: as autoras.

Quadro 6. Adequação dos critérios C2C ‘Gestão da Água e Solo’ e ‘Justiça Social’ da certificação de produtos para a escala urbana

Princípios C2C McDonough e Braungart (2002)	Critérios C2C para produtos industriais (adaptado de Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2020)	Adequação dos critérios C2C para escala urbana (as autoras)	Categorias de aplicação de áreas urbanas circulares (as autoras)
	Gestão da Água e do Solo	Gestão da Água e do Solo e Ganhos em Biodiversidade Local	
Resíduos São Alimentos	A fabricação de um produto deve garantir que a água e o solo são tratados como recursos preciosos e compartilhados. Bacias hidrográficas e ecossistemas do solo são protegidos, e água limpa e solos saudáveis estão disponíveis para as pessoas e todos os outros organismos vivos.	Este critério tem como objetivos: expandir a área disponível para a biodiversidade local, revitalizar o solo, restaurar a funcionalidade hidrológica da paisagem urbana e aprimorar a qualidade de vida da população. Neste contexto, a água e o solo são considerados recursos preciosos e compartilhados. O uso misto do solo, soluções baseadas na natureza e a recuperação de áreas degradadas são ferramentas que promovem resiliência e adaptação às mudanças climáticas, enquanto proporcionam um ambiente propício para a biodiversidade local. Para garantir um fluxo saudável de água é fundamental adotar práticas como a captação de água da chuva, a prevenção da contaminação da água e o tratamento de efluentes.	Fluxo Saudável da Água: consideram-se aspectos relacionados à captação local, uso eficiente e recirculação da água. Resiliência e Adaptação Climática: inclui soluções baseadas na natureza, permeabilidade do solo e distribuição do uso do solo. Suporte à Biodiversidade Local: aborda a implantação de áreas verdes e árvores, a diversidade de espécies e a recuperação de áreas degradadas.
	Justiça Social	Comunidades Fortes, Igualitárias e Justas	
Celebrar a Diversidade	As empresas devem estar comprometidas em respeitar os direitos humanos e adotar práticas comerciais justas e equitativas, abraçando práticas laborais seguras, justas e equitativas que promovem os direitos humanos e comunidades fortes.	Comunidades em áreas urbanas circulares devem estar comprometidas com a promoção da equidade e acessibilidade para todos os seus habitantes, a garantia de participação pública efetiva e o bem-estar da comunidade como um todo. A diversidade sociocultural deve ser valorizada, buscando agregar valor financeiro e estimulando a inovação. A governança desempenha um papel fundamental na promoção destes princípios e na garantia de que as políticas, regulamentos e ações urbanas estejam alinhados com a construção da EC em comunidades fortes, igualitárias e justas. Uma governança robusta pode ajudar a traduzir estas intenções em práticas eficazes, assegurando a participação democrática, a distribuição equitativa de recursos e o cumprimento dos princípios de igualdade e justiça em todas as áreas da vida urbana.	Governança e Participação Pública: Destaca a governança participativa e a colaboração da população local na promoção de práticas circulares. Equidade e Acessibilidade: Concentra-se na distribuição justa de recursos e na acessibilidade a serviços essenciais. Saúde e Bem-Estar da População: Aborda aspectos relacionados à qualidade de vida e à saúde da comunidade. Valorização Sociocultural: Envolve a valorização e a preservação da herança sociocultural local. Valor Financeiro Agregado: Abrange o impacto financeiro das práticas urbanas circulares. Inovação: Enfrenta os desafios através de novas soluções para a EC.

Fonte: as autoras.

1 Léa Gejer

Arquiteta e Urbanista. Mestre em Gestão Ambiental Urbana. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em

GEJER, L.; SILVA, V. G. da.

Revisão integrativa sobre economia circular em áreas urbanas

Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas. Endereço postal: Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Tecnologia e Cidade, Unicamp, Av. Albert Einstein, 951 - Cidade Universitária Zeferino Vaz, CEP 13083-970, Campinas, SP - Brasil - Caixa-postal: 6021

2 Vanessa Gomes da Silva

Arquiteta e Urbanista. Doutora em Engenharia Civil. Professora Titular na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Endereço postal: Departamento de Arquitetura e Construção, Unicamp, Av. Albert Einstein, 951 - Cidade Universitária Zeferino Vaz, CEP 13083-970, Campinas, SP - Brasil - Caixa-postal: 6021