



POLÍTICAS PÚBLICAS, CERTIFICAÇÕES E INDICADORES DE CIRCULARIDADE E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PROPOSTA DE AGENDA DE PESQUISA

Fábio José Ferraz

Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

fabiojferraz@usp.br

Tadeu Fabrício Malheiros

Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

tmalheiros@usp.br

Thelmo de Carvalho Teixeira Branco Filho

Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul e Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

thelmobranco@furg.br

Resumo:

A construção civil, responsável pela expansão das cidades, é um dos setores que mais impactam o meio ambiente, consumindo materiais, poluindo ecossistemas e gerando gases de efeito-estufa. Tais impactos decorrem da extração de recursos naturais, de sua transformação em materiais de construção, de transporte, de escolhas de projeto e da manutenção de edifícios e infraestruturas. Frente ao desafio da transição paradigmática, a cadeia tem respondido com iniciativas espontâneas de práticas mais circulares e de baixo carbono, mas ainda muito incipientemente considerando sua longa e complexa estrutura, multiplicidade de atores econômicos e dificuldade de incorporação de novas técnicas e materiais. O objetivo do artigo, por meio de revisão bibliográfica, é apresentar uma agenda de pesquisa articulando políticas públicas, instrumentos de certificação e avaliação e conjuntos de indicadores de desempenho e analisar como tais instrumentos podem acelerar a transição do setor para uma matriz de modelos de produção e consumo mais sustentáveis. Como primeiros resultados, a pesquisa relacionou barreiras e desafios enfrentados pela cadeia relativamente à transição para modelos mais circulares e sustentáveis a possíveis caminhos para sua superação apresentando algumas iniciativas em andamento. O artigo conclui pela pertinência da agenda de pesquisa em face da necessidade de alinhamento de diretrizes gerais para boas práticas de sustentabilidade aplicáveis a toda a cadeia.

Palavras-chave:

Construção Civil, Circularidade, Sustentabilidade, Políticas Públicas, Indicadores.



1. Introdução

A construção civil é responsável por mais de 40% da extração de recursos naturais, pela geração de 25% dos resíduos sólidos totais (UNEP, 2011; 2013), pelo consumo de 40% de energia e por aproximadamente 33% das emissões de gases de efeito-estufa (GEE) em nível global (SIZIRICI, 2021). No Brasil, essas frações não são muito diferentes, ainda que possam se diferenciar em fontes e matrizes. De modo geral, tais impactos são decorrentes da produção de materiais utilizados em obras como madeira, minerais metálicos (ferro, alumínio, cobre, zinco etc.) e não metálicos (areias, calcários, argilas, silicatos, compostos químicos e petroquímicos), ao transporte dos mesmos (pelo consumo de etanol, petróleo, gás natural e carvão) e à manutenção de edifícios e infraestruturas (com aquecimento, resfriamento e iluminação, principalmente).

A despeito da inevitabilidade do aumento da temperatura global e das consequentes mudanças climáticas, considerando sua longa e complexa estrutura, multiplicidade de atores econômicos e dificuldade de incorporação de inovações de produtos e processos, o setor como um todo – e seus agentes de modo específico – ainda reproduz majoritariamente modelos baseados em materiais e técnicas de elevados impactos ambientais. Em meio ao desafio de transição paradigmática, assim como pela busca de maior eficiência, competitividade e lucratividade, a cadeia da construção civil tem respondido de modo ainda incipiente com iniciativas pontuais e espontâneas de práticas mais circulares e de baixo carbono.

Propostas e novas práticas pululam: padronização de componentes construtivos como solução para o reuso de materiais, desmontagem e adaptabilidade, seleção e substituição de materiais, flexibilidade, modularidade, pré-fabricação, materiais secundários, durabilidade, otimização de componentes e materiais, reutilização e readequação de edifícios/construções/componentes/materiais existentes, formas e dimensões otimizadas, acessibilidade, independência de camadas, armazenamento de materiais, simbiose, etc.

Três mecanismos de fomento à transição dos modelos de produção e consumo para bases mais sustentáveis são as políticas públicas, os instrumentos de certificação e avaliação e os indicadores de desempenho. As políticas públicas, como conjuntos de regulamentações, planos, programas, projetos e ações, lideradas por órgãos estatais mas elaborados e implementados interinstitucionalmente, podem incidir direta ou indiretamente no setor a exemplo da Política Nacional de Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), da Política Nacional de Economia Circular (PL nº 1.874/2022) e da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (em processo de elaboração pelo Ministério das Cidades), mas também por normas e regulamentações como as normas técnicas da ABNT.

Já as certificações para construções sustentáveis (instrumentos e metodologias de certificação e avaliação de edifícios, de materiais, de processos e negócios) são conjuntos de procedimentos e pré-requisitos estabelecidos por instituições privadas para chancelar edificações relativamente ao seu (baixo) impacto ambiental, algumas de espectro amplo, outras mais específicas relativas ao uso de materiais ou consumo de energia.

Por sua vez, os indicadores de desempenho – instrumentos de avaliação de circularidade e de sustentabilidade em essência e muito úteis à avaliação das políticas públicas e aos processos de certificação e avaliação – são hoje em dia fundamentais para o estabelecimento de processos de transição para modelos mais sustentáveis na medida em que guiam ou podem vir a guiar



tomadas de decisões em todos os níveis da sociedade, desde escolhas de materiais e projetos em obras ao ajuste de metas e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

O objetivo do artigo é, por meio de revisão bibliográfica e do estado da arte da sustentabilidade na construção civil, apresentar uma agenda de pesquisa articulando políticas públicas, certificações e conjuntos de indicadores de desempenho que possam ser aplicados ao setor de modo abrangente, em todos os seus elos e por seus múltiplos atores, direcionando e acelerando a adoção de modelos de produção e consumo circulares e sustentáveis.

O estabelecimento de tal agenda decorre da dificuldade do mercado da construção civil (empresas e consumidores) de adotar abrangentemente tais novos modelos (abordagem, técnicas, estratégias, etc.) já que, de maneira geral, lucratividade e competitividade não têm relação direta com eficiência e redução de impactos ambientais. Tal adoção, entende-se, pode se tornar generalizada no setor na medida em que cada vez mais instituições de ensino (de cursos técnicos, de graduação e pós-graduação), instituições de classe, órgãos públicos, empresas, profissionais e clientes conheçam, reconheçam e se utilizem de tais mecanismos nas obras para novas edificações e em reformas do ambiente já construído.

2. Fundamentação teórica

Circularidade e sustentabilidade são dois conceitos substantivos decorrentes da adjetivação de práticas econômicas (da economia circular em oposição à economia linear) e do desenvolvimento sustentável (lapidado ao longo de décadas de discussão como alternativa crítica aos processos de degradação ambiental colaterais ao desenvolvimento capitalista). Ainda que os dois conceitos sejam correlacionados e carreguem a proposta de responsabilidade ambiental e de adequação à emergência climática, é importante diferenciá-los: o primeiro trata de produção e gestão de materiais enquanto o segundo se refere a processos e fins de longo prazo (ANASTASIADES ET AL., 2020).

A economia circular é parte do que chamamos de novas economias da sustentabilidade – juntamente à economia de baixo carbono, regenerativa, *donut*, verde, azul, bioeconomia etc. – surgidas como crítica e contraponto aos atuais modelos de produção e consumo e seus efeitos deletérios, em meio à emergência climática, à nova realidade de um mundo caracteristicamente urbano e com o uso generalizado de tecnologias de informação e comunicação. Em resumo, a economia circular propõe-se a inverter uma lógica linear de “extração-produção-consumo-descarte” desenhando produtos e serviços com vistas a mantê-los o máximo de tempo possível em uso, com estratégias de manutenção, reutilização, redistribuição, reforma, remanufatura e reciclagem (MERLI ET AL, 2018). Em outros termos, propõe-se a: i) preservar e melhorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; ii) otimizar os rendimentos de recursos circulando produtos, componentes e materiais em uso com a mais alta utilidade em todos os momentos, tanto nos ciclos técnicos [de materiais inorgânicos] quanto biológicos [de materiais orgânicos]; e iii) promover a eficácia do sistema, revelando e reduzindo externalidades negativas (ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2019).

Se a cadeia da construção civil é responsável por parcela significativa dos impactos ambientais por conta do consumo de recursos e de energia e pela produção de resíduos e GEE, a economia circular pode incorporar ganhos de sustentabilidade no setor em especial relativamente à eficiência energética dos edifícios, no uso de materiais alternativos, na gestão



de resíduos e com novos modelos de negócios (NOROUZI ET AL, 2021). Diversos outros estudos (IEA, 2019; BENACCHIO ET AL, 2020; JOENSUU ET AL, 2020; RAHLA ET AL, 2020) apontam que práticas circulares na construção civil podem reduzir significativamente os impactos das cidades nos ecossistemas globais. De modo geral, atentam para a necessidade de gestão para cidades sustentáveis, de serviços urbanos e práticas de consumo alinhadas à economia circular e de produção e construção mais limpas.

Reticente à premência da economia circular na transição da cadeia para um modelo mais sustentável, no entanto, o setor carece de conscientização mais ampla (em especial de clientes, arquitetos, engenheiros, construtores e intermediários), havendo espaço para incentivos e políticas públicas para fomento de *design* de produtos e edifícios com ciclos-de-vida fechados (ADAMS ET AL, 2017). Charef et al. (2021) indicam barreiras de diversas dimensões para a popularização de *designs* circulares e mais sustentáveis, sejam elas organizacionais, econômicas, técnicas, sociais, políticas e ambientais. Houssain et al. (2020) definem desafios relacionados a *design*, escolha de materiais, disseminação na cadeia de suprimentos, modelos de negócios tradicionais, incerteza e risco, colaborações entre ações, políticas públicas, integração do metabolismo urbano e a necessidade de metodologias para avaliação de iniciativas de economia circular. Ao seu turno, Guerra & Leite (2021) indicam orçamento e custos iniciais, cronograma do projeto, falta de conscientização e regulamentação, e modelos de negócios tradicionais como principais barreiras para a implementação de estratégias para o estabelecimento de experiências exitosas de economia circular na cadeia da construção civil. Nesse último estudo, as autoras indicam educação e mudança cultural, disponibilidade de dados, políticas e incentivos e novas administrações voluntárias como forças facilitadoras para encarar tais desafios e barreiras.

Algumas estratégias apresentadas para a superação de tais barreiras são a padronização de componentes construtivos como solução para o reuso de materiais (ANASTASIADES ET AL, 2021), desmontagem e adaptabilidade (DAMS ET AL, 2021) e, além dessas, seleção e substituição de materiais, flexibilidade, modularidade, pré-fabricação, materiais secundários, durabilidade, otimização de componentes e materiais, reutilização de construções/componentes/materiais existentes, formas/dimensões otimizadas, acessibilidade, independência de camadas, armazenamento de materiais, simbiose ou compartilhamento (EBERHARDT, BIRKVED & BIRGISDOTTIR, 2022).

Relativamente a políticas públicas, são propícias à discussão as iniciativas dos Países Baixos, de Portugal, da China e do Brasil. Os primeiros têm atuado como importante liderança na introdução da economia circular na cadeia da construção, com a particularidade de uma intensa articulação entre mercado e setor público. Baseados em objetivos e padrões de sustentabilidade bastante exigentes, os Países Baixos vêm implantando diversas iniciativas e arranjos institucionais no setor da construção chegando a reduzir significativamente emissões de GEE nos últimos anos com a redução de 18% em 2021 em comparação a 1990. Resumidamente, como estratégia geral, visando a tornar a economia neerlandesa totalmente circular em 2050, o governo lançou em 2016 o programa *The Netherlands Circular*, seguido por um acordo intersetorial sobre consumo de matérias-primas. Em 2018, uma articulação entre especialistas do governo, academia e indústria lançaram o documento *Circular Construction Economy Transition Agenda* específico para a cadeia da construção civil. E, como consequência, em 2019, o *Circular Economy Implementation Program*, uma agenda efetiva com ações concretas para um prazo de quatro anos (RADEMAKER, 2023).



Portugal, da mesma forma, apresenta diversos esforços gerais de promoção da economia circular no país e especificamente na cadeia da construção. Inicialmente com um Plano de ação para a Economia Circular, lançado em 2018, avançou no setor com o Plano de Ação para a Circularidade na Construção, como ação resultante do Acordo Circular com a Indústria da Construção (FONSECA ET AL, 2022).

A China, por sua vez, é pioneira na instituição de legislação e de órgãos governamentais voltados especificamente à economia circular com a Lei de Promoção da Economia Circular aprovada pelo Conselho de Estado em 2009 propondo regulação sobre a gestão de resíduos, uso eficiente de recursos e exploração mineral, sobre a construção civil e arquitetura, zoneamento urbano, agricultura, indústria e serviços (ISAWAKA, 2018).

No Brasil, o Governo Federal recentemente lançou a Estratégia Nacional de Economia Circular – por meio do Decreto nº 12.082 de junho de 2024 – buscando “*incentivar o uso eficiente dos recursos naturais e das práticas sustentáveis ao longo da[s] cadeia[s] produtiva[s]*”. Ainda que o decreto não especifique particularidades da cadeia da construção civil, a estratégia em geral fomenta a inovação, a cultura, a educação e a geração de competências para reduzir, reutilizar e promover o redesenho circular da produção, por meio de capacitação, pesquisa e do estabelecimento de instrumentos econômicos, sociais e ambientais. Concomitantemente, o PL 1.874/2022 que institui a Política Nacional de Economia Circular, já aprovado pelo Senado Federal, está em análise na Câmara dos Deputados desde março de 2024, aguardando tramitação, discussão e aprovação.

À parte esse avanço recente, iniciativas oficiais em prol da sustentabilidade na construção civil têm estado restritas à gestão de resíduos da construção civil (RCC) inseridos na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010 e muito focada nos princípios de responsabilidade compartilhada e logística reversa (MUNARO & TAVARES, 2022). O setor privado, ao seu turno, seja com esforços de fomento seja por meio de certificações, vem também contribuindo para a disseminação de novas práticas mais circulares e sustentáveis. Sob diferentes modulações e abordagens, instituições não governamentais também têm se posicionado. *Exempli gratia*, o Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU) e o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), como entidades de classe de um lado, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) e a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), como entidades setoriais de outro, vêm promovendo diversas discussões e lançando publicações sobre a temática.

Desde a década de 90 do século passado, têm surgido metodologias que visam a promover a adequação de práticas e projetos construtivos mais sustentáveis. Como sistema de classificação e certificação, o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) desenvolvido pelo *US Green Building Council* (USGBC) apresentou uma versão piloto em 1988 focada em eficiência energética. Desde então, em diversos países, instituições públicas e privadas têm estabelecido certificações para edificações “ecológicas” e/ou sistemas de avaliação de sustentabilidade de prédios como conjuntos de critérios a serem perseguidos. Outros exemplos são o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), certificação conferida pela instituição britânica para padronização de atividades da construção civil *Building Research Establishment* e o DGNB (*Deutsche*



Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), sistema de avaliação conferido pelo Conselho Alemão de Edificações Ecológicas (KILBERT, 2020).

No Brasil, outras certificações são, atualmente, utilizadas como a Aqua-HQE e Aqua Social, a Procel Edifica e o Selo Casa Azul. A Aqua-HQE e Aqua Social – desenvolvidas pela empresa francesa Démarche HQE (*Haute Qualité Environnementale*) e aplicadas pela Fundação Vanzolini – têm como focos o impacto ambiental e o conforto aos usuários, sendo a primeira certificação voltada a empreendimentos de alto padrão e a segunda a habitações populares. A Procel Edifica (do Centro Brasileiro de Eficiência Energética – Procel) é uma mescla dos princípios da LEED e da Aqua. O Selo Casa Azul é aplicado aos projetos habitacionais financiados pela Caixa Econômica Federal (CEF) com o objetivo de promover o uso racional de recursos naturais e o conforto ambiental nas construções.

Em sentido lato, todas as estratégias, políticas públicas e certificações apresentam listagens com importantes aspectos e dimensões relativas a indicadores de circularidade e sustentabilidade. Em sentido estrito, diversos estudos e pesquisas apresentam quadros de indicadores mais estruturados com proposição de métricas, princípios e diretrizes. Abadi, Moore & Sammuneh (2022), ao questionarem a lacuna de instrumentos de avaliação de circularidade na construção civil, propõem o quadro *Project Lifecycle Assessment Circularity Indicators and Themes* (PLACIT, em português, Indicadores e Temas de Circularidade para Avaliação do Ciclo-de-Vida de Projetos) utilizando doze indicadores de circularidade agrupados em cinco etapas do ciclo-de-vida dos projetos, a saber:

- Indicadores de *design* para circularidade na construção (**etapa de projeto**): i) soluções de projeto para maximizar a circularidade futura (projeto para desmontagem, longevidade e modularização); ii) uso de materiais inovadores de baixo impacto; iii) incorporação de materiais reciclados no *design*;
- Indicadores de impacto de construção (**etapa de construção**): iv) insumos de materiais (construção eficiente, processos, equipamentos compartilhados); v) métodos inovadores de construção (pré-fabricação, impressão 3D etc.);
- Indicadores de utilização e manutenção sustentáveis (**etapa de construção**): vi) durabilidade do edifício, do ativo ou do projeto (uso eficiente, reparo, manutenção e reaproveitamento); vii) redução do impacto ambiental da operação (emissões de CO₂, consumo de energia e gestão de resíduos domésticos);
- Indicadores para gestão de resíduos de construção e demolição (**etapa de fechamento de ciclos de materiais**): viii) gestão de resíduos de construção (minimização de resíduos, recuperação de materiais e equipamentos para posterior reutilização); ix) gestão de resíduos de demolição (integração da estrutura 3R e da hierarquia de gestão de resíduos);
- Indicadores de gestão da economia circular (**modelos de negócios, educação e gestão de dados**): x) novos modelos e estratégias de negócios; xi) planejamento, colaboração e gestão de dados de economia circular; e xii) educação, formação e sensibilização das partes interessadas para a economia circular.

Gonzáles e al. (2021) – também baseados em estágios (de produtos, processo construtivo, uso e fim do ciclo-de-vida) e no quadro de indicadores básicos da União Europeia para edifícios residenciais e escritórios – propõem que seus indicadores de desempenho sejam relativos a: i)



emissões de GEE ao longo do ciclo-de-vida de um edifício; ii) ciclos-de-vida de materiais circulares e eficientes em termos de recursos; iii) uso eficiente dos recursos hídricos; iv) espaços saudáveis e confortáveis; v) adaptação e resiliência às alterações climáticas; e vi) custo e valor do ciclo-de-vida otimizados.

Já o Centro de Economia Circular ligado ao Departamento de Economia, Ciência e Inovação do Governo da Bélgica desenvolveu seu conjunto de indicadores baseando-se para os níveis macro (em termos regionais), meso (em termos de sistemas urbanos e sociais) e micro (em termos de produtos e serviços) propondo cinco tipos de indicadores:

- Indicadores de forças-motrizas: número de domicílios, número de empresas, área total de edifícios residenciais, área total de edifícios não residenciais, área total de todos os edifícios;
- Indicadores de pressão: toneladas de matérias-primas virgens, combustíveis e água para edifícios e habitações, emissões emitidas para edifícios e habitações, área da superfície construída;
- Indicadores de estado (qualidade): toneladas de matérias-primas virgens, combustíveis e reservas de água, concentração de emissões (qualidade do ar), áreas de terreno natural;
- Indicadores de impacto: número de moradores de rua, número de pessoas afetadas por emissões, número de pessoas que enfrentam escassez de água;
- Indicadores de resposta: eficiência de matérias-primas (toneladas de matérias-primas utilizadas por metro quadrado de edifícios), eficiência de superfície (metros quadrados fornecidos por área de superfície), eficiência de uso (taxa de ocupação), eficiência de aquecimento, número de alojamentos sociais arrendados, número de reformas e reparos, vida útil média dos anos dos edifícios, parcela de demolições supervisionadas, taxas de reciclagem de materiais de construção (REICH, ALAERTS & ACKER, 2021).

Por fim, uma última proposta analisada é apresentada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em seu Inventário de Indicadores de Economia Circular (OECD, 2020) no qual compila um conjunto de 474 indicadores relativos à economia circular trabalhados por 29 estudos científicos no período de 2018 e 2020. Divididos em cinco categorias – meio ambiente, governança, economia e negócios, infraestrutura e tecnologia e empregos – o conjunto de indicadores é dividido também por setores, quais sejam: resíduos; recursos e materiais; reuso, reparo e compartilhamento; ambiente construído; energia; alimentos; água; administração pública; ar; e outros. O setor de ambiente construído concentra um total de 7% dos indicadores, mas diversos outros indicadores a ele relacionados se encontram dispersos em outros setores por questões de definição (como de resíduos, energia, água, etc.). Tal inventário é bastante amplo em sua compilação, mas sua categorização exige um esforço de manipulação para que todos os indicadores relacionados à cadeia possam ser agrupados devidamente.

3. Metodologia

A presente pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica recente, levantamento do estado-da-arte e análise comparativa das políticas públicas, instrumentos de certificação e avaliação e de conjuntos de indicadores de circularidade e sustentabilidade aplicáveis à construção civil,



suas possíveis interrelações, barreiras, desafios e oportunidades frente à necessidade de adaptação e mitigação das cidades às novas condições climáticas e transição paradigmática.

O conjunto das fontes de pesquisa (artigos científicos, livros, documentos técnicos e legislação) foram explorados junto a bases acadêmicas como Scielo, Google Acadêmico e Science Direct assim como nos *sites* de instituições de cooperação e de órgãos públicos e escolhidos pela adesão e pertinência aos temas trabalhados. Definida a bibliografia, os documentos foram analisados e agrupados por temas como economia circular na construção civil, barreiras e desafios, indicadores de circularidade para a construção civil, políticas públicas para a construção civil, dentre outros buscando estabelecer comparações entre proposições, correlações e encadeamentos nos possibilitando definir a estrutura da fundamentação teórica e desenvolver os resultados e conclusões.

Sendo que o artigo tem o objetivo de frisar a pertinência e a relevância de uma agenda de pesquisa, as conclusões devem ser entendidas como considerações finais colocando-se como pertinentes e imperativas.

4. Resultados

O processo de desenvolvimento das cidades aliado ao processo de desenvolvimento econômico – notadamente após o advento da modernidade e de suas sucessivas revoluções industriais – tem se dado em detrimento dos ecossistemas naturais, tanto pela necessidade de extração de matérias-primas e produção agropecuária para alimentação e energia, quanto pela poluição e geração de GEE. Em consequência, diante do estado de emergência climática global, a adaptação das cidades articulada a esforços de mitigação e mesmo sequestro de carbono pelas mesmas passam a ser, então, um imperativo, uma questão de ordem.

Ao nos debruçarmos sobre as principais agendas de desenvolvimento sustentável no âmbito das cidades – em especial, a Agenda 2030 e o ODS 11 de tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis – devemos elencar a adaptação do ambiente construído, a produção e reprodução do espaço urbano e, portanto, a transição da cadeia produtiva da construção civil para uma matriz de base circular, com materiais, técnicas e sistemas construtivos de baixo carbono e menor consumo de energia como um dos principais desafios da sociedade contemporânea.

Como apontado, a economia circular aplicada ao setor, incorporando ganhos de sustentabilidade aos edifícios e sistemas urbanos, tanto na produção e construção quanto na manutenção dos mesmos, pode contribuir sobremaneira para a redução do impacto das cidades nos ecossistemas globais. Para tal, mais do que conscientização e mudança de comportamento de *designers*, arquitetos, engenheiros, construtores e clientes, é crucial o estabelecimento de todo um conjunto de políticas públicas, normas, regulamentos, códigos, incentivos, certificações de produtos e processos etc. bem como um conjunto de indicadores que subsidie a tomada de decisões e o ajuste das práticas de cada elemento da cadeia produtiva.

Conquanto a cadeia da construção civil seja longa e complexa, com milhões de *players*, técnicas e conhecimentos diversos e seja refratária à incorporação de inovações, as barreiras e desafios não são em nada desprezíveis. Daí, a urgência do estabelecimento de novos modelos



de negócios baseados em materiais, processos e sistemas construtivos mais sustentáveis bem como arranjos produtivos mais curtos privilegiando a proximidade. Da mesma forma, a consolidação da temática (com todo o arcabouço teórico-conceitual e conjunto de técnicas) nos cursos técnicos, de graduação e pós-graduação em *design*, engenharia, arquitetura e urbanismo, principalmente, mas também nos direcionamentos das entidades de classe e setoriais às práticas profissionais.

Para superar as barreiras – sejam elas técnicas, políticas, econômicas, organizacionais, sociais e/ou ambientais – todo um conjunto de políticas, planos, programas e ações devem ocorrer concatenadamente ao longo de toda a cadeia, nos níveis macro, meso e local, em especial. Nesses termos, a circularidade e a sustentabilidade devem reforçar a máxima de pensarmos globalmente e agirmos localmente.

Dois bons exemplos de propostas e iniciativas de transição no setor relativas à composição e ao fluxo de materiais de construção são a instituição de “passaportes de materiais” e o uso cada vez mais frequente de modelagem de informações de construção (*Building Information Modeling* – BIM) em todas as fases do processo construtivo. A primeira, por meio do Projeto BAMB (*Building as Material Banks*) desenvolvida no âmbito da União Europeia, busca apresentar uma mudança sistêmica no setor da construção pela criação e implantação de soluções circulares. De modo geral, o projeto objetiva: i) aumentar o valor ou manter o valor dos materiais, produtos e componentes ao longo do tempo; ii) criar incentivos à produção de materiais/produtos de construção mais sustentáveis e circulares; iii) fomentar a escolha desses materiais em projetos de edifícios modulares, pré-fabricados e reversíveis; e iv) facilitar a logística reversa e reutilização de produtos, materiais e componentes (BAMB, 2017).

O segundo exemplo, mais amplo, é a utilização da metodologia BIM como estratégia de transição para sustentabilidade e circularidade na construção. Cada vez mais, as tecnologias baseadas em BIM são consideradas um veículo potencialmente útil às partes interessadas em busca do melhor uso dos dados de *design* e projeto e na construção de análises de classificação de sustentabilidade, como é o caso do LEED que se utiliza das bases de BIM para avaliações de construção (WONG ET AL, 2014). Tal possível e necessária incorporação do BIM pelo setor, de modo geral, vem de encontro às diversas diretrizes propaladas pelas agendas globais (como pelos ODS 9 de indústria, inovação e infraestrutura e ODS 12 de produção e consumo sustentáveis).

Em relação ao setor público, mais especificamente, há que se destacar algumas importantes iniciativas recentes, tais como o Decreto nº 9.983/2019 que dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM e institui o Comitê Gestor da Estratégia do BIM, a fundação da Frente Parlamentar em Defesa do Sistema de BIM fundada em outubro de 2019 e o Decreto nº 10.306/2020 que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* (Estratégia BIM BR), instituída pelo mesmo decreto.



No que toca ao arcabouço jurídico-legal e de políticas públicas relativo ao planejamento e gestão urbanos e ao setor da construção civil, em específico, vale considerar o desafio de integração dos muitos órgãos e peças de planejamento nas muitas escalas e temáticas. Em meio às novas condições de emergência e crise climática no Brasil e no mundo, é imprescindível que os municípios tenham suas capacidades administrativas, institucionais e financeiras reforçadas. Tanto quanto se adaptar às mudanças climáticas, as cidades precisam se adequar a novos modelos de desenvolvimento que propiciem às suas populações segurança e melhor qualidade de vida e cumpram o papel de organização das atividades econômicas nos territórios, notadamente das atividades do setor da construção civil.

Deve-se partir do nível nacional e regional para se entender e se estabelecer o papel do setor da construção civil, com uma estratégia de transição para a sustentabilidade, relativamente à Política Nacional de Mudança do Clima (Lei nº 12.187/06), ao Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Dec. 6.263/07, Port. 150/16), à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/12), à Política Nacional de Desenvolvimento Regional (Decr. nº 11.962/24), à Política Nacional de Ordenamento Territorial e à Política Nacional de Desenvolvimento Urbano, ambas em discussão bem como à Política Nacional de Economia Circular (PL nº 1.874/22). Nessa seara, como apontado, está em andamento a Estratégia Nacional de Economia Circular (Dec. nº 12.082/2024) que, juntamente com a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes podem influenciar o setor da construção a aderir ao uso do BIM e a priorizar ações de redução de impacto ao longo da cadeia.

Com o avanço no Congresso Nacional do PL nº 380/2023 que modifica o Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257/2001) com vistas à inclusão de diretrizes relativas à adaptação às mudanças climáticas, os instrumentos de planejamento e gestão urbanos – em especial os Planos Diretores e os demais planos setoriais (mobilidade, habitação, saneamento, arborização etc) – devem se articular para direcionar os projetos a incorporarem as premissas de desenvolvimento sustentável e de circularidade.

Havemos de apontar uma lacuna existente entre o desenvolvimento de políticas e planos de caráter nacional e de nível municipal e local, e desses com sua operacionalização por meio de programas, projetos e ações, fazendo com que os Planos Diretores e setoriais, se constituam como documentos pouco aplicáveis, não regulamentados e distantes das necessidades da população. A revisão, portanto, desses planos – sob uma ótica de articulação, de implantação e de contínua avaliação e monitoramento – é imprescindível o que impõe o uso de um conjunto de indicadores de circularidade e sustentabilidade que publicize a importância de ações, de tomada de decisões e mudança de modelos de produção e consumo.

Tal como os exemplos dos Países Baixos, de Portugal, União Europeia e China, é necessário que às políticas e planos sejam anexados conjuntos de metas e indicadores que possibilitem avaliar e monitorar as iniciativas em curso, bem como as responsabilidades e readequações de cada ator público ou privado. Novamente, deve-se frisar o papel fundamental dos conselhos de classe e entidades setoriais como incentivo à disposição do mercado de criar



e manter condições de competitividade e lucratividade no processo de transição para a sustentabilidade.

Os instrumentos e metodologias de certificação e avaliação – de edifícios, de materiais, de processos e negócios – caminham no mesmo sentido e têm papel complementar, mas particularizados e singularizados. Tais certificações e sistemas de avaliação promovem práticas de circularidade e sustentabilidade no setor de construção civil, buscam minimizar custos relativos aos ciclos-de-vida de materiais e produtos, promovem a construção de espaços mais saudáveis e confortáveis e também servem como ferramentas de marketing, dentre outras finalidades e resultados (BAMB, 2017). Às dezenas, os mais representativos apresentados anteriormente, esses instrumentos requerem grandes quantidades de dados e informações que normalmente são operacionalizados como indicadores. Uma questão que se coloca, todavia, é qual a possibilidade de disseminação na aplicação de tais instrumentos à toda a cadeia desde as pequenas obras de construção e reforma de imóveis até grandes obras de infraestrutura bem como sua capacidade de financiamento já que processos de certificação e avaliação envolvem serviços privados com custos via-de-regra elevados para parcela considerável da população e do mercado.

Os indicadores de sustentabilidade e circularidade, ao seu passo, úteis às políticas públicas e às certificações e sistemas de avaliação, se baseiam em informações qualificadas e acompanhadas ao longo de tempo, sendo em sua maioria derivados de processos econômicos, sociais e ambientais separados ou mesmo integrando mais de um domínio. Como apontam Hák, Moldan & Dahl (2007), devem ser trabalhados em quadros, conjuntos ou matrizes, ser abrangentes e escaláveis, compreensíveis e úteis às pessoas e também relevantes em termos técnicos e políticos.

Um quadro de indicadores de circularidade e sustentabilidade relevante para o setor da construção civil poderá, portanto, ter vários graus de abrangência na medida de sua necessidade e aplicabilidade, bem como considerar aspectos e dimensões, métricas, princípios e diretrizes. Ao revisitarmos as propostas já apresentadas, veremos que os mesmos estruturam seus quadros com diferentes lógicas: em etapas subsequentes de projeto, construção, operação, fechamento de ciclo e modelos de negócios (ABADI, MOORE & SAMMUNEH, 2022); na quantidade de emissões de GEE ao longo do ciclo-de-vida de um edifício, ciclos-de-vida de materiais, uso dos recursos hídricos, espaços saudáveis e confortáveis, adaptação e resiliência às alterações climáticas e custo e valor do ciclo-de-vida (GONZÁLES E AL., 2021); em níveis macro, meso e micro separando os indicadores por forças-motrizas, pressão, estado, impacto e resposta (REICH, ALAERTS & ACKER, 2021) ou ainda em categorias como meio ambiente, governança, economia e negócios, infraestrutura e tecnologia e empregos (OCDE, 2020).

Tal como a Agenda 2030 que estabelece um conjunto de 17 objetivos, 169 metas e 232 indicadores de desenvolvimento sustentável (com a inclusão de um 18º objetivo de igualdade étnico-racial buscando, entre outras metas, assegurar habitação adequada e sustentável para a população negra e indígena), faz-se necessário um esforço de organização de objetivos, metas e indicadores de sustentabilidade e circularidade para a cadeia da construção civil, úteis à



implantação das políticas públicas e articulados aos instrumentos de certificação e sistemas de avaliação. Paralelamente, para que tais possíveis objetivos, metas e indicadores sejam disseminados e minimamente apreendidos e incorporados nas atividades de cada *player*, há que se construir mecanismos de transmissão aos sistemas de certificação e avaliação e às políticas públicas. Nessa direção, a inclusão de dados de resíduos da construção civil no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) seria uma primeira e importante etapa para a institucionalização desse esforço.

5. Conclusões

Considerando o crescimento das cidades no Brasil e nos países do Sul Global e a emergência climática, é fundamental que a construção civil se esforce para incorporar tais novas tecnologias às suas práticas, bem como atue para disseminá-las por toda a cadeia de suprimentos. Isso implica na busca por eficiência de processos produtivos, desenvolvimento de novos materiais, geração e disseminação de conhecimento científico. Como procuramos apontar, a cadeia como um todo vem apresentando várias iniciativas e, podemos dizer, casos de sucesso de incorporação de princípios e diretrizes de circularidade e sustentabilidade na produção de materiais de construção, de produtos elaborados, projetos e sistemas construtivos, mas ainda de maneira muito tímida ao ponto de não modificar sua participação na extração de recursos, consumo de energia, geração de resíduos e de GEE.

Nesse sentido, conclui-se que o esforço de estabelecimento e aprimoramento de um conjunto de indicadores de circularidade e sustentabilidade aplicáveis ao setor, de articulação e desenvolvimento das políticas públicas e da disseminação dos instrumentos de certificação e avaliação pode acelerar o processo de transição da cadeia da construção civil para uma matriz de modelos de produção, construção e consumo sustentáveis e de adaptação das cidades às novas condições climáticas. Relativamente à Agenda 2030, esse esforço se relaciona diretamente ao ODS 11 de tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, com metas de melhorar a urbanização, reduzir o impacto ambiental das cidades e aumentar o acesso a moradias seguras e acessíveis; e ao ODS 13 que foca em combater as mudanças climáticas e seus impactos, promovendo a resiliência e a adaptação, além de integrar ações climáticas nas políticas nacionais.

Se, por um lado, as agendas de desenvolvimento sustentam que as cidades sejam transformadas em ambientes mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, por outro, os meios técnico-científico e de negócios sugerem que as mesmas se tornem mais inteligentes e conectadas pelo uso das tecnologias de informação e comunicação. Nesse ponto, a utilização de metodologias como o BIM no processo de *design*, projeto e construção, vem de encontro a esse conjunto desses objetivos, ao possibilitar inferir e refletir sobre o processo construtivo e propor melhores práticas.

Nesse contexto, o posicionamento do Brasil e de seu setor de construção, diante do estoque de recursos naturais, da matriz energética diversificada e desafios urbanos, econômicos e sociais, pode transformar as barreiras de transição em oportunidades de desenvolvimento, o que torna tal proposta de agenda de pesquisa pertinente e relevante.



6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Síntese Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo e a seus grupos de pesquisa pelas oportunidades de compartilhamento de conhecimentos e desenvolvimento dessa pesquisa.

7. Referências bibliográficas

ABADI, M.; MOORE, D.R.; SAMMUNEH, M.A. 2022. A framework of indicators to measure project circularity in construction circular economy. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Management, procurement and law [online], 175(2), pages 54-66. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jmapl.21.00020>. Acesso em 20 de maio de 2024.

ADAMS, K.T.; OSMANI, M.; THORPE, T.; THORNBAC, J. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Waste and Resource Management 170 February 2017 Issue WR1, pages 15–24. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>. Acesso em 12 de junho de 2024.

ANASTASIADES, K.; BLOM, J.; BUYLE, A.B.; AUDENAERT, A.; Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 117 (2020) 109522. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>. Acesso em: 30 de junho de 2024.

ANASTASIADES, K.; GOFFIN, J.; RINKE, M.; AUDENAERT, A.; BLOM, J. Standardisation: An essential enabler for the circular reuse of construction components? A trajectory for a cleaner European construction industry. Journal of Cleaner Production 298 (2021) 126864. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126864>. Acesso em: 13 de março de 2024.

BAMB – Building as Material Banks Consortium. Materials Passports. Disponível em: <https://bamb2020.eu/topics/materials-passports/>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

BENACHIO, G.L.F.; FREITAS, M.C.D.; TAVARES, S.F. Circular economy in the construction industry: a systematic literature Review. Journal of Cleaner Production 260 (2020) 121046. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>. Acesso em: 26 de novembro de 2023.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 150 de 10 de maio de 2016. Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/migracao/Portaria_MMA_n_150_de_10052016.html. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Decr. nº 11.962 de 22 de março de 2024. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Regional. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D11962.htm. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Decreto 12.082 de 27 de junho de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular, Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2024/decreto-12082-27-junho-2024-795869-publicacaooriginal-172239-pe.html>. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Decreto nº 25 de junho de 2019. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em:



https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2016. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm . Acesso em: 20 de outubro de 2024.

BRASIL. Projeto de Lei nº 1874 de 2022. Institui a Política Nacional de Economia Circular e altera a Lei nº 10.332, de 19 de dezembro de 2001, a Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010, e a Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021, para adequá-las à nova política. Disponível em <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/153918>. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

CHAREF, R.; MOREL, J.C.; RAKHSHAN, K. Barriers to Implementing the Circular Economy in the Construction Industry: A Critical Review. Sustainability 2021, 13, 12989. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2024/decreto-12082-27-junho-2024-795869-publicacaooriginal-172239-pe.html>. Acesso em: 10 de agosto de 2024.

DAMS, B.; MASKELL, D.; SHEA, A., ALLEN, S.; DRIESSER, M.; KRETSCHMANN, T.; WALKER, P.; EMMITT, S. A circular construction evaluation framework to promote designing for disassembly and adaptability. Journal of Cleaner Production 316 (2021) 128122. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128122>. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

EBERHARDT, L.C.M.; BIRKVED, M.; BIRGISDOTTIR, H. Buildings design strategies for a circular economy. Architectural, Engineering and Design Management, 2022, vol. 18, no. 2, 93–113. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1781588>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

EMF – ELLEN MCARTHUR FOUNDATION/ARUP. Circular economy in cities: project guide. London, 2019. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/xj9mg8hcbvd5-bropux/@/preview/1?o>. Acesso em: 3 de setembro de 2023.



FONSECA, P., FRAZÃO PEDROSO, M., TAVARES, V., AGUIAR COSTA, A., SANTOS, L., LARANJEIRA, L. Plano de Ação para a Circularidade na Construção. Porto: Ed. BUILT CoLAB, 2022. Disponível em: < <https://circularidade.builtcolab.pt/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

GONZÁLEZ, A.; SENDRA, C.; HERENA, A.; ROSQUILLAS, M. VAZ, D. Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities. Resources, Conservation & Recycling Advances, 12 (2021) 200051. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200051>. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

GUERRA, B.C.; LEITE, F. Circular economy in the construction industry: an overview of United States stakeholders' awareness, major challenges, and enablers. Resources, Conservation & Recycling 170 (2021) 10561. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105617>. Acesso em: 8 de julho de 2023.

HÁK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A.L. (Ed.). Sustainability indicators. Washington/Covelo/London: Island Press, 2007.

HOUSSAIN, U.; S; THOMAS NG.; ANTWI-AFARI, P.; AMOR, B. Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews 130 (2020) 109948. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>. Acesso em: 8 de julho de 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. United Nations Environment Programme, 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 8 de julho de 2023.

ISAWAKA, F. Y. Políticas públicas e economia circular: levantamento internacional e avaliação da Política Nacional de Resíduos. 2018, 139f. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

JOENSUU, T.; EDELMAN, H.; SAARI, A. Circular economy practices in the built environment. Journal of Cleaner Production 276 (2020) 124215. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

KILBERT, C.J. Edificações sustentáveis: projeto, construção e operação. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2020.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. Journal of Cleaner Production 178 (2018), pp. 703-722. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617330718>. Acesso em: 8 de julho de 2022.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 129-142, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QJXpvJxWdQ5Lsd8nmg8x4Bx/>. Acesso em: 20 de agosto de 2023.

NOROUZI, M.; CHÀFER, M.; CABEZA, L.; JIMÉNEZ, L.; BOER, D. Circular economy in the building and construction sector: a scientific evolution analysis. Journal of Building



Engineering 44 (2021) 102704. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221005623>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

OECD – ORGANIZATION FOR THE ECONOMIC AND COOPERATION DEVELOPMENT. The OECD Inventory of Circular Economy indicators. The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, 2020. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/10/the-circular-economy-in-cities-and-regions_dd1348ed/10ac6ae4-en.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2023.

RADEMAKER, A. Promoting circular economy in the construction sector – a view from the Netherlands. Tel Aviv: Israel Public Policy Institute, 2023. Disponível em: <https://www.ippi.org.il/promoting-circular-economy-in-the-construction-sector-a-view-from-the-netherlands/>. Acesso em: 8 de julho de 2023.

RAHLA, K.M.; MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. Implementing Circular Economy Strategies in Buildings – From Theory to Practice. Applied Systems Innovation. 2021, 4, 26. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/asi4020026>. Acesso em: 13 de março de 2024.

REICH, R.H.; ALAERTS, L.; ACKER, K.V. Circular economy indicators for buildings and housing. CE Center publication N° 19: Sustainability Assessment of Material Life Cycles, Leuven, Belgium, 2021. Disponível em: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/measuring-circular-economy/circular-economy-indicators-buildings-and-housing>. Acesso em: 25 de outubro de 2025.

SIZIRICI, B.; FSEHA, Y.; CHO, C.S.; YILDIZ, I.; BYON, Y.J. A review of carbon footprint reduction in construction industry: from design to operation. Materials 2021, 14, 6094. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14206094>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

UNEP – United Nations Environmental Program. City-Level Decoupling: Urban resource flows and the governance of infrastructure transitions. Nairobi: UNEP, 2013. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8488>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

UNEP – United Nations Environmental Program. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers. Nairobi: UNEP, 2011. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/towards-green-economy-pathways-sustainable-development-and-poverty-eradication-10>. Acesso em: 12 de outubro de 2024.

WONG, J.K.W.; KUANB, K.L. Implementing ‘BEAM Plus’ for BIM-based sustainability analysis. Automation in Construction 44 (2014) 163–175, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580514000892>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.