



CENTRO MULTIDISCIPLINAR UFRJ – MACAÉ
INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS MACHADO LEAL

**A APLICABILIDADE DA ECONOMIA CIRCULAR NAS DIVERSAS FASES DE
UM PROJETO DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE DIRETRIZES
PROJETUAIS PARA CIRCULARIDADE**

MACAÉ

2023

LUCAS MACHADO LEAL

**A APLICABILIDADE DA ECONOMIA CIRCULAR NAS DIVERSAS FASES DE
UM PROJETO DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE DIRETRIZES
PROJETUAIS PARA CIRCULARIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus
Macaé, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. D.Sc. Thiago Gomes de Lima

MACAÉ

2023

CIP - Catalogação na Publicação

L435

Leal, Lucas Machado

A aplicabilidade da economia circular nas diversas fases de um projeto de construção civil: um estudo sobre diretrizes projetuais para circularidade / Lucas Machado Leal - Macaé, 2023.

69 f.

Orientador(a): Thiago Gomes de Lima.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2023.

1. Construção civil. 2. Economia circular. 3. Sustentabilidade.

I. Lima, Thiago Gomes de , orient. II. Título.

CDD 624

**A APLICABILIDADE DA ECONOMIA CIRCULAR NAS DIVERSAS FASES DE
UM PROJETO DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE DIRETRIZES
PROJETUAIS PARA CIRCULARIDADE.**

Lucas Machado Leal

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovação da banca examinadora:

Orientador: Prof. D.Sc. Thiago Gomes de Lima
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Professor(a) Examinador(a): Prof. Mestre Rômulo Bernardo dos Santos - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Professor(a) Examinador(a): Msc. Luísa Lemos Vilaça
Faculdade Professor Miguel Ângelo da Silva Santos

Professor(a) Examinador(a): Msc. Denise Aparecida Pereira Siloto – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Professor(a) Examinador(a): Msc. Beatriz R. Becker
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACAÉ

2023

Dedico este trabalho primeiramente a minha mãe, Fernanda, por ter dedicado grande parte de sua vida à minha formação pessoal e acadêmica, e aos meus avós emprestados, Valmir e Solange, que me abriram as portas de sua família e casa que me acomodou nos primeiros anos de graduação. A vocês minha eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a mim mesmo pela luta, perseverança e resiliência durante todos estes anos durante a graduação. Por não ter desistido nos momentos mais difíceis, mesmo que tenham sido muitos.

Agradeço a minha mãe que tudo fez e faz por mim, sem ela nada seria possível.

À minha família que em conversas sempre me desejava força.

Agradeço a minha companheira de vida, Anna Carolina, que desde 2018 acompanha minha jornada sendo minha força e fonte de inspiração e orgulho.

Não poderia deixar os amigos de fora dessa. Aos de infância que sempre estiveram, aos novos que fiz durante o período acadêmico e profissional, e aos que já se foram, mas que deixaram ensinamentos.

Agradeço onde trabalhei, desde a época de serviços informais até hoje. Todo local e todos os profissionais que estavam lá presentes me ensinaram de alguma forma. Obrigado!

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador e hoje amigo, Thiago, que embarcou nesse projeto e mesmo com as dificuldades e mudanças, sempre se propôs a me ajudar. Obrigado, Thiago!

RESUMO

Ao longo dos anos, o setor de construção civil vem impactando de alguma forma a sociedade, trata-se de um setor com alto consumo de materiais e uma capacidade significativa para geração de resíduos. Nota-se em diversas localidades a adoção de um processo econômico linear, entretanto, há algumas décadas os princípios da economia circular, vem ganhando espaço nas organizações, com vista a minimização dos resíduos gerados e a gestão de um ciclo de vida da construção civil mais sustentável. Dado a este cenário, o presente trabalho tem como objetivo levantar diretrizes projetuais aplicáveis em diferentes estágios do ciclo de vida da construção civil visando a circularidade. Portanto, foram adotados a metodologia de análise bibliométrica e estudo de múltiplos casos de empresas do setor de construção civil engajadas na promoção da economia circular, visando identificar ações circulares. Os resultados da análise bibliométrica contribuíram para identificação de quarenta e seis ações circulares e análise de múltiplos permitiu identificar quarenta e oito intervenções circulares, sendo que a maior parte delas estavam relacionadas a fase de projetos. Finalmente as ações foram categorizadas em sete eixos temáticos, (1) ciclo de vida, (2) *stakeholders*, (3) materiais, (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, (5) tecnologia; (6) resíduos e (7) processos e métodos, sendo que no eixo de materiais foram alocadas o maior quantitativo de iniciativas, no qual poderão ser contempladas ao longo do projeto, com vista a circularidade da construção civil. Finalmente o trabalho propõe algumas recomendações projetuais aos gestores. As diferentes lições aprendidas revelaram a importância do desenvolvimento de tecnologias, do alinhamento de diferentes *stakeholders* e da necessidade de adaptar as soluções as condições locais.

Palavras-chave: Construção Civil, Economia Circular, Sustentabilidade, Diretrizes Projetuais, Ciclo de Vida da Construção e Ações de circularidade.

ABSTRACT

Over the years, the civil construction sector has impacted society in some way, it is a sector with high consumption of materials and a significant capacity for waste generation. It is noted in several locations the adoption of a linear economic process, however, for some decades the principles of the circular economy have been gaining ground in organizations, with a view to minimizing the waste generated and the management of a more civil construction life cycle. sustainable. Given this scenario, the present work aims to raise design guidelines applicable in different stages of the civil construction life cycle, aiming at circularity. Therefore, the methodology of bibliometric analysis and the study of multiple cases of companies in the civil construction sector promoting the circular economy was adopted to identify circular actions. The results of the bibliometric analysis contributed to the identification of forty-six circular actions and the analysis of multiples allowed identifying forty-eight circular interventions, most of which were related to the project phase. Finally, the actions were categorized into seven thematic axes, (1) life cycle, (2) stakeholders, (3) materials, (4) laws, standards, and technical or scientific reports, (5) technology; (6) waste and (7) processes and methods, with the largest number of initiatives allocated to the materials axis, which may be contemplated throughout the project, with a view to the circularity of civil construction. Finally, the work proposes some design recommendations for managers. The lessons learned revealed the importance of technology development, the alignment of different stakeholders, and the need to adapt solutions to local conditions.

Keywords: Civil Construction, Circular Economy, Sustainability, Project Guidelines, Construction Life Cycle, and Circularity Actions.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo.....	42
Quadro 2 - Fase de aplicação da EC, Ações e Vantagens.....	43
Quadro 3 - The Edge – Informações	46
Quadro 4 - Hospital New Karolinska	47
Quadro 5 - Informações do Sistema de Construção Moladi	49
Quadro 6 - Informações Burj Khalifa	51
Quadro 7 - Informações Água Inglesa	51
Quadro 8 - Informações BSB	53
Quadro 9 - Informações Uptake	55
Quadro 10 - Diretrizes Projetuais na Construção Circular.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo Linear de Produção.....	17
Figura 2 - Grande Aceleração.....	19
Figura 3 - Evolução da Economia Circular	20
Figura 4 - Ilustração Economia Circular	21
Figura 5 - Comparativo entre Modelos Econômicos.....	22
Figura 6 - Comparativo de Resíduos Sólidos entre 2010 e 2019	26
Figura 7 - Aumento dos Resíduos de Demolição	26
Figura 8 - Divisão de RCD por região.....	27
Figura 9 - Quantidade de RCD no Brasil	27
Figura 10 - Quantitativo de Tonelada/Ano de RCD por região	28
Figura 11 - Quantitativo Kg/Habitante/Ano por Região	28
Figura 12 - Aspectos de EC durante o ciclo de vida de um edifício	29
Figura 13 - Ciclo dos 3R's da Sustentabilidade	31
Figura 14 - Etapas para pesquisa bibliográfica.....	35
Figura 15 - The Edge vista externa.....	47
Figura 16 - The Edge vista interna	47
Figura 17 - New Karolinska Hospital.....	48
Figura 18 - The Courthouse depois de pronta	50
Figura 19 - Burj Khalifa vista frontal	50
Figura 20 - Burj Khalifa Vista Superior	50
Figura 21 - Foto do sistema de construção	52
Figura 22 - Fábrica de partes pré-moldadas	53

LISTA DAS ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

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

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida;

BIM – Building Modeling Construction;

BSB – Broad Sustainable Building;

CC – Construção Civil;

CMA – Comissão Do Meio Ambiente;

CNI - Confederação Nacional da Industria;

CO2 – Dióxido de Carbono;

EC – Economia circular;

GEE – Gases do Efeito Estufa;

GRCD – Gestão de Resíduos de construção e demolição;

IOT – Internet of Things;

KPI – Key Performance Indicators;

ONU – Organização Das Nações Unidas;

PVC – Policloreto de Vinila;

QEOP - Queen Elizabeth Olympic Park;

RCC – Resíduos da Construção Civil;

RCD – Resíduos de Construção e Demolição;

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial;

SIGR – Sistema Integrado de Gestão de Resíduos;

TD – Tecnologias Digitais;

UE - União Europeia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 A ECONOMIA LINEAR	17
2.2 A ECONOMIA CIRCULAR	18
2.3 ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.3.1 Os materiais da construção civil	24
2.3.2 Resíduos na construção civil	25
2.4 O CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO	29
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
4 RESULTADOS	35
4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	35
4.2 ANÁLISE DOS CASOS REAIS	46
4.3 DIRETRIZES PROJETUAIS PARA CONSTRUÇÃO CIRCULAR	55
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA GESTORES PROJETISTAS	60
6 CONCLUSÃO	62
6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	63
6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	63
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção será apresentado a contextualização do tema e sua relevância, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a motivação pessoal e pôr fim a estrutura do presente trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A economia mundial tem sido construída com base num modelo linear de negócios, baseado em extrair, transformar, produzir, utilizar e descartar. Somente às vezes, reciclar ou incinerar são incrementados. Mas analisando a conjuntura atual e estimativas futuras, este modelo começa a estar ameaçado, devido à disponibilidade limitada de recursos naturais, além de questões ambientais, sociais e econômicas. Projeções futuras indicam incompatibilidade entre os níveis de produção e consumo atuais e disponibilidade de recursos naturais para as próximas gerações. (LEITÃO, 2015)

Ainda com esse cenário, o mesmo autor apresenta a economia circular, que é um modelo permissivo a repensar as práticas econômicas da sociedade atual e que se inspira no funcionamento da própria natureza. É indissociável da inovação e do design de produtos e sistemas. Está incluída em um quadro de desenvolvimento sustentável baseado no princípio de fechar o ciclo de vida dos produtos, permitindo a redução no consumo de matérias-primas, energia e água.

Segundo Barboza (2019), o conceito de economia circular vem sendo adotado por diversos países, como Suécia, Finlândia, França, Reino Unido, China, entre outros, bem como pelos governos e empresas de diferentes setores. No Brasil, por meio de especialistas da Comissão de Meio Ambiente (CMA), é necessário ter uma lei em prol da economia circular para o resíduo plástico, a qual enfatize o reuso e reciclagem. Estudos da Organização das Nações Unidas (ONU) mostraram que em 2050 haverá mais plásticos no oceano que vida marinha. (RESENDE, 2022)

Algumas organizações estão inserindo a Economia Circular em seu Planejamento Estratégico. Como exemplo, a Braskem na América do Sul, definiu em 2020, se tornar uma empresa carbono neutro até 2050 e, para isso, estão implementando rotineiramente uma série de iniciativas de redução, compensação e captura de emissões (QUIROGA, 2022).

A aplicação da economia circular tem um impacto direto no combate às alterações climáticas e na prevenção do desperdício. Por exemplo, apenas mudar a forma como se produz e usa-se aço, cimento, alumínio e plástico poderia levar a uma redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) dessas indústrias de até 40% até 2050. (LEMMENS, 2016)

Da mesma forma, aplicar princípios de circularidade à construção pode significar reduções de materiais (e custos) usando produção modular e impressão 3D, otimizando o uso de energia e reutilizando ou reciclando materiais de alto valor na fase de desconstrução. (LEMMENS, 2016)

A Comissão Europeia tem dado muita importância para o setor de construção civil, por conta do grande impacto ambiental negativo, o que reforça a importância da economia circular (EC), exemplificando, o setor requer grandes quantidades de recursos sendo responsável por cerca de 50% de todo o material extraído e por representar mais de 35% do total de resíduos gerados da União Europeia. A partir de uma pesquisa realizada, as entrevistas mostraram que muitas pessoas envolvidas desconhecem o termo da EC. Os resultados obtidos demonstraram que empresas não aplicam e não conhecem o conceito da EC, conforme explica Ottosen (2021).

Um estudo interessante destacou a reincorporação do cascalho de perfuração pré-tratado como substituto do agregado miúdo para fabricação de concreto. Foi feita uma análise com técnica espectroscópica de infravermelho para entender melhor a concentração presente de cloreto nas estruturas. Por se tratar de um material que é contaminado com hidrocarbonetos e metais pesado, o seu descarte inadequado pode gerar grandes impactos ambientais negativos. Inicialmente essas análises de caracterização eram bastante caras e demoradas, mas graças ao uso da tecnologia de espectroscopia vis-NIR o processo se torna mais barato e rápido, podendo também analisar e determinar a característica dos cascalhos, o concreto propriamente fabricado (presença de metais pesados e hidrocarbonetos) e a resistência a compressão. (REUBEN, 2018)

Logo, é de grande relevância identificar oportunidades que poderão ser de grande valor para a indústria da construção civil, de modo a analisar em que circunstâncias são possíveis de serem integradas e desenvolvido um novo mercado, gerando nova renda, mais empregos, novas profissões e empregabilidade dos conceitos de desenvolvimento sustentável para a sociedade.

Portanto, o presente trabalho pretende explorar aspectos da circularidade no setor da construção civil através da análise de cases publicados pelo Fórum Econômico Mundial, bem como, relacioná-los aos atributos de circularidade identificados em bases de pesquisas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo levantar diretrizes projetuais aplicáveis em diferentes estágios do ciclo de vida da construção civil visando a circularidade. Portanto, pretende-se aplicar a análise bibliométrica e o estudo de múltiplos cases de empresas do setor de construção civil engajadas na promoção da economia circular, bem como, identificar ações de circularidade em diferentes fases do ciclo da vida da construção.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Contextualizar a economia circular e a linear.
- Demonstrar as relações da economia circular com o setor de construção civil.
- Analisar *cases* com base em relatórios institucionais de práticas de circularidade.
- Levantar nas bases de pesquisa atributos de circularidade em cada fase do ciclo de vida da construção civil.
- Propor recomendações projetuais aplicáveis à construção civil em seus diferentes estágios do ciclo de vida.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em relação à economia circular na construção civil, sabe-se que muitas iniciativas vêm sendo desenvolvidas em diversos países do mundo. O Plano de Ação da União Europeia (UE) para a economia circular, publicado em 2020, um conjunto de iniciativas legislativas e não legislativas visam promover a transição do modelo linear de produção para um modelo circular, sendo mapeado ações e propostas para a gestão de resíduos. Isso inclui metas para aterros sanitários, reuso e reciclagem para serem cumpridas entre 2030 e 2035. (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2020)

No Brasil, o assunto vem ganhando notoriedade, embora existam muitas oportunidades de pesquisas e projetos a serem desenvolvidos visando o desenvolvimento de negócios circulares. De acordo com uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) publicada em 2019, 70% das

peças responderam não ter ouvido falar sobre economia circular antes da pesquisa, embora a maior parte já tenha desempenhado práticas relacionadas ao tema em suas empresas. Ao questionar os entrevistados sobre a importância da EC, aproximadamente 88% dos entrevistados avaliaram como importante ou muito importante.

A falta de conhecimento acerca do tema revela a importância de se conhecer e compreender a sua aplicabilidade nos mais diferentes setores, entre eles a construção civil (CC). Tratando-se da CC vale ressaltar que no Brasil são gerados de 7 a 10 bilhões de toneladas por ano de resíduos (Wilson *et al.*, 2015). Dada essa problemática Murray, Skene e Haynes (2017), reforçam que a economia circular aplicada na CC, colabora para criação de um circuito econômico eficiente e fechado, com a baixa utilização de energia e emissão de poluentes, promovendo também o uso adequado dos recursos, favorecendo na construção de uma economia mais ecológica e promovendo o bem-estar social.

Em virtude dos fatos, analisar casos de circularidade no setor da CC e levantar oportunidades aplicáveis a diferentes estágios dos projetos, pode ser de grande relevância para os projetos das edificações, estradas, pontes e correlatos. Além de contribuir para os desenvolvimentos de diretrizes projetuais e com o fomento de modelos de negócios sustentáveis.

1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL

A construção civil está em minha vida desde que me entendo por gente. Filho de carpinteiro, pedreiro, marceneiro e microempresário, a imersão na construção civil não teve uma data certa, ela sempre esteve ali desde os primeiros passos e pregos que eu pregava com o martelo que meu pai deixava comigo, até a época que me inseri trabalhando de servente e ajudante de carpintaria e serviços gerais. O que me motiva realizar esse estudo é ter a preocupação com nosso meio ambiente, e por ser apaixonado por inovação tecnológica benéfica para o desenvolvimento sustentável, aplicando práticas aprendidas na faculdade com o corpo de professores e com leituras, estudos e pesquisas realizadas ao longo desses 6 anos de universidade, e devolver para a sociedade essa pesquisa como forma de agradecimento. Para mim a natureza é tudo, e por estar numa profissão que em certo ponto faz modificações prejudiciais para nossa evolução, vejo a primordial necessidade de desenvolver ideias e práticas para mitigar e reduzir tais intervenções negativas, e destinar insumos a serem reincorporados na indústria para inovadoras finalidades.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco partes. Na primeira parte foi apresentada a introdução do presente trabalho. Na segunda parte será apresentado o referencial teórico, onde serão contextualizados os conceitos sobre economia linear e circular; a economia circular na construção civil. Na terceira parte serão apresentados os procedimentos metodológicos. Na quarta parte serão apresentados os resultados que foram divididos em quatro partes. Inicialmente serão apresentados os dados referentes a análise bibliométrica, na segunda parte, serão analisados os múltiplos casos de circularidade com base no relatório do fórum econômico mundial, e as respectivas intervenções em cada ciclo de vida da construção civil, na terceira parte serão relacionados os atributos de circularidade identificados nas bases de pesquisa aos cases analisados e finalmente na quarta parte o trabalho será apresentado uma série de iniciativas que poderão ser consideradas em cada etapa do ciclo de vida da construção civil visando acelerar a transição de uma econômica linear para uma economia circular. Na quinta parte do trabalho será descrito a discussão dos resultados e por fim as considerações finais, incluindo as limitações do trabalho e oportunidades de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão contextualizados a economia linear, economia circular, a economia circular no setor da construção civil, incluindo os materiais utilizados, os resíduos gerados, a economia circular no setor de construção civil brasileira e por fim o ciclo de vida de um edifício.

2.1 A ECONOMIA LINEAR

Analisando os primórdios da Revolução industrial, o modo de produção e consumo é realizado de maneira linear, ou seja, as matérias-primas transformadas em produtos manufaturados eram consumidas e, depois, descartadas como lixo. Esse modelo econômico linear tem sido utilizado e bem-sucedido, ao longo dos anos, por proporcionar ao consumidor produtos a preços mais acessíveis e garantir o aumento de bens materiais a bilhões de indivíduos (LUZ, 2017).

Figura 1 - Modelo Linear de Produção



Fonte: WAUTELET, 2018

Contudo, nesse sistema, a extração da matéria prima, transformação em produtos e descarte, não leva em consideração que os recursos são finitos. Pela explicação de Leitão (2015), este modelo de desenvolvimento assume que os recursos são abundantes, disponíveis e com pouca preocupação em recuperar os desperdícios gerados ou reaproveitar os componentes de produtos em fim do ciclo de vida, o que leva ao mau uso dos recursos e ao crescente aumento de resíduos. Na mesma linha de pensamento, a durabilidade dos produtos é baixíssima, visando o estímulo do consumo, aumentando a produção de resíduos e degradação do meio ambiente.

A falta de uma ou várias políticas de reaproveitamento e reutilização na economia linear, causam efeitos provocados à sociedade que se tornam grandes e muito nocivos. Poluição, esgotamento dos recursos naturais, redução da biodiversidade, alterações globais no clima,

aumento do preço das commodities, incerteza no mercado, entre outros impactos ambientais e econômicos, tornam esse modelo de produção inviável e ineficiente.

Conforme Ellen MacArthur Foundation (2017), o aumento do consumo no Brasil ocasionou o aumento da linearidade do setor produtivo. No ano de 2012 foram introduzidos no mercado brasileiro 24,2 milhões de toneladas de equipamento eletrônicos, que geraram 1,4 milhões de toneladas de lixo eletrônico, o equivalente a cerca de 7 kg de lixo por pessoa.

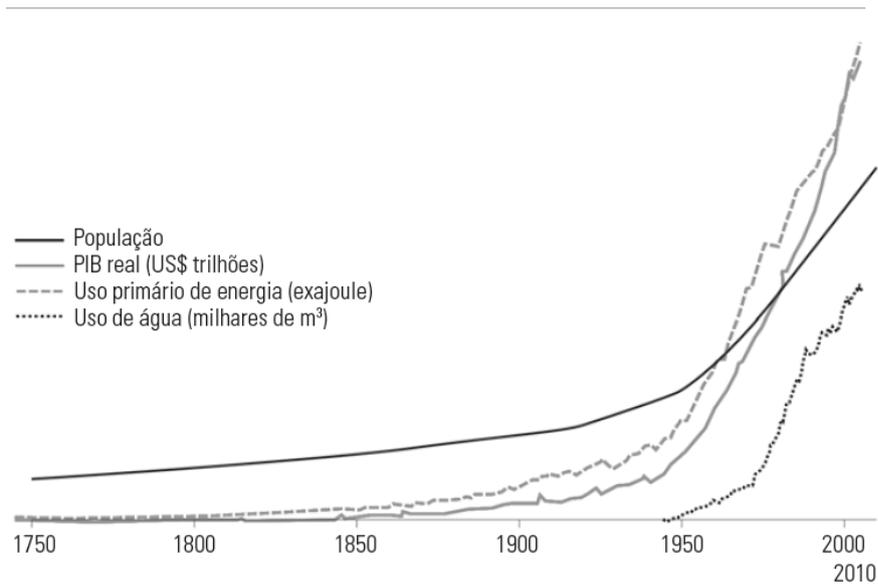
Por outro lado, apenas 2% desse lixo foi reprocessado ou reintroduzido no ciclo produtivo, mas é válido ressaltar que dessa porcentagem, a maior parte é enviada ao mercado externo, deixando para o mercado interno apenas os materiais de baixo valor, como os plásticos. Além de perdas materiais, há uma grande perda energética. Um produto eliminado em aterro, tem toda sua energia residual perdida, ao contrário do que ocorre quando há reutilização, processo que permite a economia significativa de energia. Ou seja, ocorrem perdas desnecessárias de recursos. Soma-se aos problemas ecológicos, o aumento do preço e da volatilidade dos recursos naturais. Nos últimos dez anos a oscilação dos preços dos produtos agrícolas, das matérias-primas e dos metais foi a maior. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Com essas informações acerca de uma economia tradicional e que no fim de vida dos produtos acaba a descartar mais insumos como lixo e não com uma potência de matéria prima, entra uma nova filosofia, denominada economia circular, onde muda radicalmente essa ambientação inerte final.

2.2 A ECONOMIA CIRCULAR

A partir dos anos 1970, constata-se cada vez mais que muitos dos recursos de que dependemos para a nossa sobrevivência são finitos ou estão sujeitos às restrições impostas pela velocidade de renovação ou pela disponibilidade de terras. Em nossos ambientes urbanos, é fácil esquecer que a Terra e seus sistemas vivos fornecem tudo o que usamos ou consumimos – alimentos, ar, água, habitação, roupas, transporte – tudo. (WEETMAN, 2019)

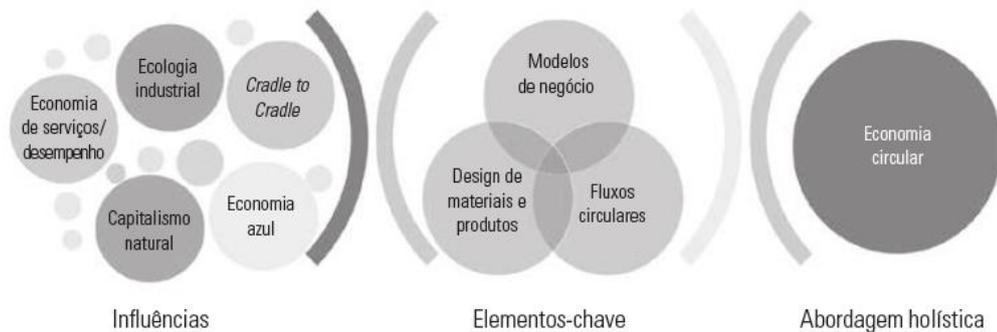
Conforme mostram pesquisas, dos anos 50 até os anos 2000 houve um crescimento significativo da população, e mais que isso, o crescimento do consumo de recursos. Uma parcela disso, impulsionada pelo “boom” da tecnologia e pelo aumento do poder aquisitivo das pessoas, conforme mostra a figura 2. (WEETMAN, 2019).

Figura 2 - Grande Aceleração

Fonte: Weetman, 2019

Esse crescimento, gerou e continua gerando muitos resíduos e mais necessidades de insumo para fabricação de produtos. Nota-se que no ciclo vicioso os resultados não serão positivos, porque a maioria dos recursos são finitos. Com isso, a partir da necessidade de se pensar em alternativas de mitigar ou reverter definitivamente alguns cenários, surge o conceito de economia circular.

Em fins do século XX, importantes pensadores desenvolveram novos conceitos para a criação de novos modelos de negócio sustentáveis. Novos jargões estão surgindo nas publicações sobre negócios, como *Cradle to Cradle* (C2C – berço ao berço), biomimética, serviços do ecossistema, ecologia industrial e sobre ciclagem. Inovação recorrente é o modelo de economia circular. E analisando todos os conceitos de estudiosos e a linha temporal, a figura 3 ilustra conceitos que são base para a definição do que conhecemos como economia circular. (WEETMAN, 2019)

Figura 3 - Evolução da Economia Circular

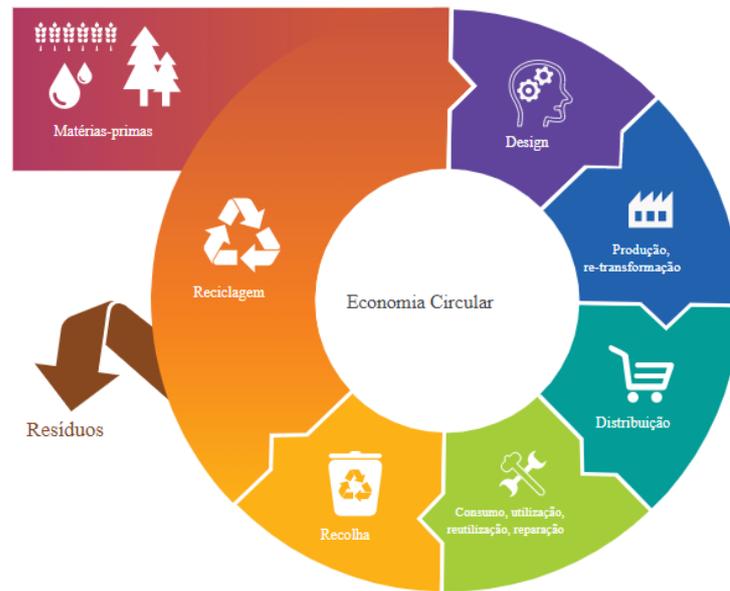
Fonte: Weetman, 2019

O primeiro relatório importante da série *Towards the Circular Economy* (2013) desbravou novo território, avaliando as oportunidades econômicas e empresariais de um modelo circular restaurador. A economia circular (EC) se inspira na natureza, onde o resíduo de uma espécie é o alimento de outra, e a soma fornece energia.

A Economia Circular movimentada em ciclos materiais e produtos de grande valor, produzindo-os e transportando-os através da energia renovável. No relatório, *Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa*, os princípios que são abordados e definidos como: resíduos são alimentos a serem reincorporados; construir resiliência por meio da adversidade; usar energias renováveis; e pensar em sistemas para desenvolver negócios, porque uma ação acaba dissipando um efeito dominó e caso seja ruim, o impacto se torna negativo. (WEETMAN, 2019)

Tendo como referência o Relatório Atualidades Parlamento Europeu (2022) economia circular é um modelo de produção e de consumo que envolve a partilha, o aluguel, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e produtos existentes, enquanto possível. Desta forma, o ciclo de vida dos produtos é alargado. Na prática, a economia circular implica a redução do desperdício ou dos resíduos ao mínimo.

Quando um produto chega ao fim do seu ciclo de vida, os seus materiais são mantidos dentro da economia sempre que possível, podendo ser utilizados uma e outra vez, o que permite assim criar mais valor. A economia circular contrasta com o modelo tradicional, o modelo econômico linear baseado no princípio produz-utiliza-descarta. Este modelo exige vastas quantidades de materiais a baixo preço e de fácil acesso e muita energia. (ATUALIDADES PARLAMENTO EUROPEU, 2022) A figura 4 ilustra a filosofia do ciclo de vida da EC.

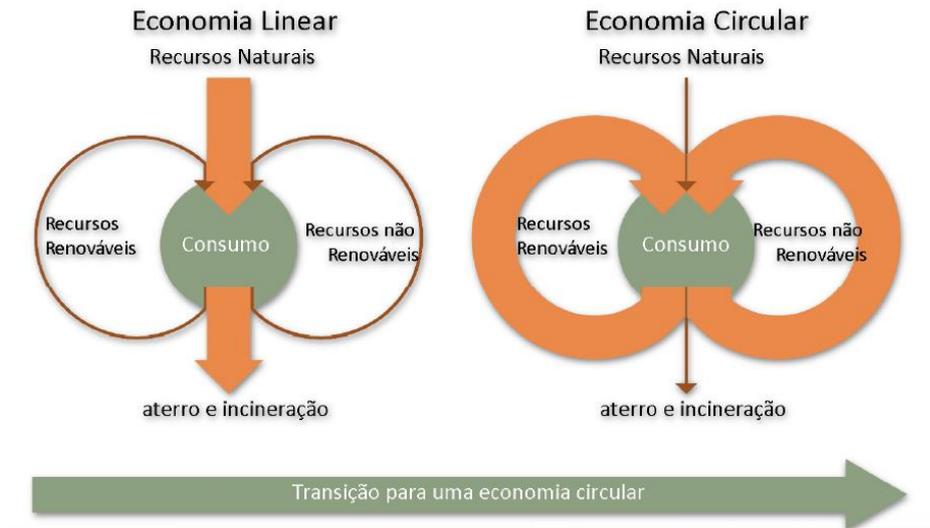
Figura 4 - Ilustração Economia Circular

Fonte: Atualidade Parlamento Europeu, 2022

Segundo a *Ellen MacArthur Foundation* (Fundação Ellen MacArthur), fundada em 2010 com a missão de acelerar a transição rumo a uma economia circular, o modelo econômico ‘extrair, produzir, desperdiçar’ da atualidade está atingindo seus limites físicos. A economia circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade.

A Fundação reforça ainda que, isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social. Ele se baseia em três princípios: eliminar resíduos e poluição desde o princípio, manter produtos e materiais em uso e regenerar sistemas naturais.

A solução ideal para o melhor desenvolvimento seria a transição do formato linear, para o circular, conforme a figura abaixo exemplifica, onde se tem mais ciclos de reuso e menos transporte para aterros e incineração de resíduos (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2013). A figura 5 apresenta um esquema comparativo entre os dois tipos de economia.

Figura 5 - Comparativo entre Modelos Econômicos

Fonte: TEIXEIRA, 2019

É possível entender a partir da figura 5, que o modelo circular implementa uma cultura de utilizar mais os insumos finais como novos recursos, diminuindo assim o aumento de depósito em aterros e incineração, o que contribui para a poluição.

2.3 ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com os autores Levy e Helene (2002), a reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) já ocorre desde os anos 20. Segundo eles, as primeiras pesquisas foram realizadas em 1928 no intuito de se avaliar tecnicamente a dosagem de concreto utilizando-se resíduos de construção, destacando-se que a reutilização de RCC mais significativa foi registrada após a Segunda Guerra Mundial, quando estes foram utilizados na reconstrução das cidades europeias no período pós-guerra.

Conforme Paschoalin Filho (2019) em 1984 foi construído na cidade de São Paulo a primeira via de tráfego com aplicação de agregados reciclados nas camadas de reforço do subleito e na sub-base, garantindo uma qualidade satisfatória; Minas Gerais, por sua vez, elaborou um Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil nos anos de 1993, para evitar descarte em locais indevidos. Em 1995 foi feita a inauguração da 1ª central de reciclagem em Belo Horizonte, e no ano seguinte, outra no bairro da Pampulha.

Tratando-se da EC na CC, Paschoalin Filho (2019) sinaliza que existe um *gap* entre a pesquisa acadêmica e a adoção dos princípios da economia circular na construção civil. Havendo uma grande necessidade de integrar o conceito de circularidade à indústria da construção civil, de forma a garantir a redução dos resíduos gerados pelo setor e criar um futuro mais sustentável. Além disso, ainda indica através de outras pesquisas que há poucos estudos que de fato incorporem a EC na construção civil. De acordo com Yuan e Shen (2011), muitas pesquisas têm focado apenas em soluções que ajudam a diminuir o impacto ambiental de determinados resíduos, ao dar-lhes tratamento.

Alguns estudos incorporaram a EC na construção civil, nesse sentido vale apresentar as respectivas estruturas e os seus respectivos resultados.

Um estudo bem interessante destacou a reincorporação do cascalho de perfuração pré-tratado como substituto do agregado miúdo para fabricação de concreto. Foi feita uma análise com técnica espectroscópica de infravermelho para entender melhor a concentração presente de cloreto nas estruturas. Por se tratar de um material que é contaminado com hidrocarbonetos e metais pesado, o seu descarte inadequado pode gerar grandes impactos ambientais negativos. (REUBEN, 2018)

Através de um trabalho realizado, intitulado com *Circular digital built environment: An emerging framework*, em 2050, cerca de dois terços da população viverá em cidades grandes. No ano de 2030 aproximadamente 3 bilhões de pessoas precisarão de novas moradias. No entanto, a construção de hoje é o setor mais intensivo em recursos nos países industrializados, usando 50% de todos os materiais consumidos na Europa, criando 36% do total de resíduos na União Europeia (UE), e emitindo 39% de gases de efeito estufa relacionadas à energia devido a seu modelo linear: extraíndo, produzindo, usando e descartando materiais e recursos de construção. O resultado mapeou 10 tecnologias digitais (TDs) que trabalhando entre si, mapeiam estágios de vida de uma construção (tendo como exemplo edifícios) fazendo com que a construção seja moldada de forma sustentável impactando o menos possível, analisando o quantitativo de material utilizado e reinserção dos insumos. (ÇETIN, *et al*, 2021)

Outro trabalho bem interessante, chamado *Sustainability Transition through Dynamics of Circular Construction Projects* propôs entender a dinâmica de projetos de construção circular e como esses projetos contribuem para a transição para a EC. Os resultados mostraram que através de dinâmicas, ambições circulares em projetos de construção podem ser divididas em três grupos. A primeira inclui pré-requisitos que são necessários para definir e realizar ambições circulares em projetos de construção. A segunda contém as dinâmicas temporais que desempenham um papel de suporte durante a realização de ambições circulares em projetos de

construção e o terceiro está relacionado a fatores contextuais que influenciam a dinâmica temporal na construção intraorganizacional de projetos, que por sua vez são influenciados por eles. (KOOTER, 2021)

Com base nos estudos apresentados, nota-se que é de suma importância entender os tipos de materiais usados, os resíduos gerados, bem como os possíveis destinos eles devem ter, considerando que na construção civil os resíduos são gerados em escala significativa.

2.3.1 Os materiais da construção civil

Sobre os materiais voltados para construção civil, que posteriormente se tornam insumos variam em quantitativo a depender o método construtivo adotado. Podem ser obtidos diretamente da natureza ou como resultado do trabalho industrial. (FORNER, 2015)

Relacionado a materiais metálicos, mesmo sendo altamente recicláveis e duráveis, são presentes métodos de extração não renováveis. Eles vêm cada vez mais ganhando mercado, desde a revolução industrial, e os mais utilizados atualmente são: Ferro, Cobre, Alumínio, Chumbo e o aço (liga ferro carbono), representando um grande quantitativo nas obras e marcam presença na maior parte das etapas estruturais. (CHAGAS, 2022).

Pelo apresentado por Chagas (2022), outro material que é extraído e utilizado em construções são as rochas, que fragmentadas geram a famosa brita, classificadas como “agregados”: pedras, brita e areia e outras misturas. As principais pedras utilizadas são: granitos, basaltos, dioritos, arenitos, calcários e dolomitos, ardósias, quartzitos, mármore e gnaisses. Junto aos agregados está a madeira que por sua vez é bastante utilizada e apresenta ótima trabalhabilidade, resistência e reutilização, onde é usado em diversas etapas da construção, de formas à elementos estruturais (pilares, vigas, telhados, estruturas de cimbramento, etc).

Complementando a listagem de material, os materiais cerâmicos apresentam características de alta estabilidade química, resistência à corrosão e ao calor, após passarem pelo seu processo de fabricação de tratamento térmico em altas temperaturas. São exemplares: blocos, tijolos, telhas cerâmicas e revestimentos cerâmicos. (CHAGAS, 2022)

Outro material vastamente utilizado na construção civil é o plástico em suas formas de polipropileno, polietileno, policloreto de vinila (PVC) e Nylon, promovendo as vedações hidro sanitárias das obras, como também drenagem. O quantitativo de uso de produtos plásticos só perde para o setor de embalagens. (DUARTE, 2022)

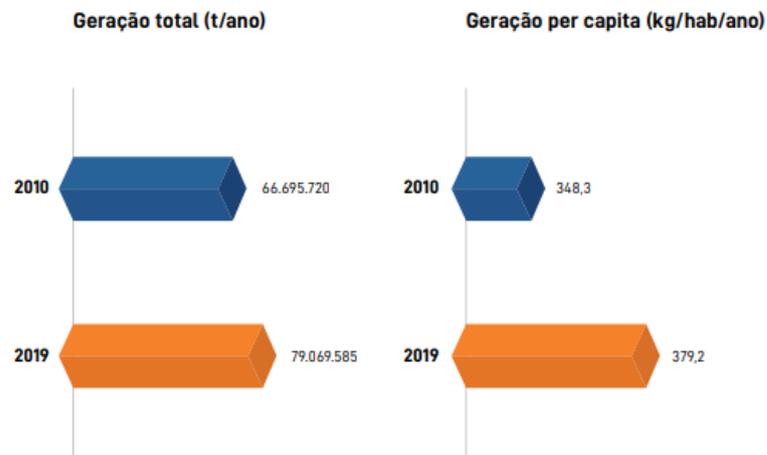
Todos esses materiais quando utilizados, raramente conseguem ter cem por cento de aproveitamento, ou seja, há perdas durante os processos em que são empregados. Caso tais insumos não sejam tratados de forma adequada, o fim de vida útil os torna resíduos que se não manejados de forma correta, podem gerar impactos negativos no meio ambiente. No que tange aos resíduos na CC, é essencial compreender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei no. 12.305/2010.

2.3.2 Resíduos na construção civil

Conforme o Decreto-Lei nº 239/97, entende-se por resíduo quaisquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer. Se subdividem ainda em: resíduos industriais, urbanos, hospitalares e outros. Além disso, é importante salientar que a norma ABNT 10.004, que classifica os resíduos, mostra que os gerados pela construção civil são tratados como não perigosos e inertes.

Dentro desse cenário, se destaca na construção civil uma grande quantidade de resíduos sólidos e para isso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. (POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010)

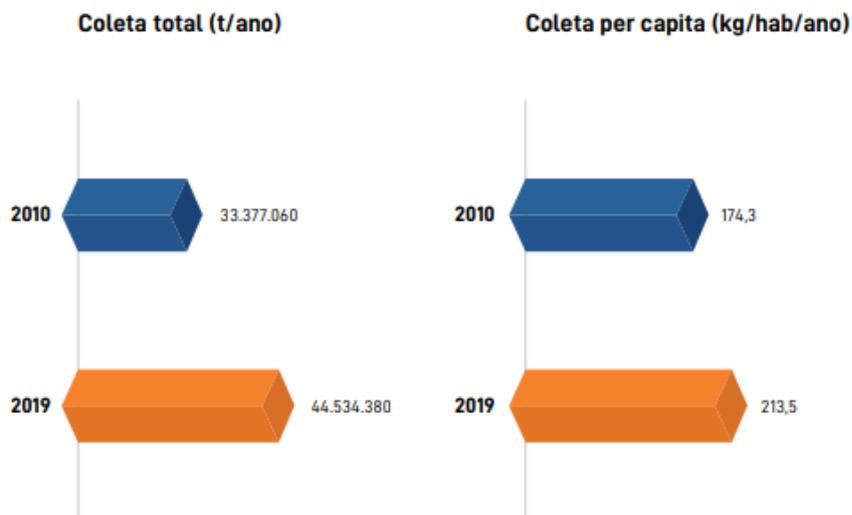
Conforme apresentado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), entre os anos de 2010 e 2019, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU no Brasil registrou expressivo aumento, onde os dados obtidos indicaram um aumento que variou de aproximadamente 67 milhões para 79 milhões de tonelada por ano, da mesma forma que a geração *per capita*, que variou de forma crescente de 348 kg/ano para 379 kg/ano, conforme a figura 6.

Figura 6 - Comparativo de Resíduos Sólidos entre 2010 e 2019

Fonte: ABRELPE, 2022

Neste contexto, a quantidade de resíduos coletados cresceu em todas as regiões do país e, em uma década, passou de cerca de 59 milhões de toneladas em 2010 para 72,7 milhões de toneladas e, no mesmo período, a cobertura de coleta passou de 88% para 92%.

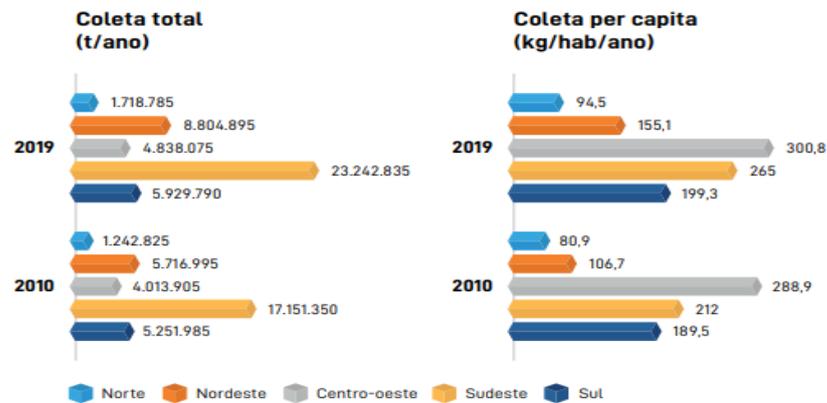
Atrelado a isto, os Resíduos de Construção e Demolição - RCD coletados pelos municípios também registraram um aumento quantitativo no período analisado, onde os dados obtidos foram crescentes, passando de 33 milhões de toneladas, em 2010, para 44,5 milhões, em 2019. Com isso, a quantidade coletada *per capita* cresceu de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano conforme a figura 7. (ABRELPE, 2020)

Figura 7 - Aumento dos Resíduos de Demolição

Fonte: ABRELPE, 2020

Esse quantitativo segue distribuído pelas regiões do país, conforme a figura 8 apresenta.

Figura 8 - Divisão de RCD por região



Fonte: ABRELPE, 2020

Em 2020, pela pesquisa da ABRELPE, foram coletadas pelos municípios cerca de 47 milhões de toneladas de RCD, o que representa um crescimento de 5,5%. Com isso, a quantidade coletada foi de 221,19 kg por habitante/ano. A região Sudeste se destaca no total de RCD coletado, por volta de 52% de participação no total coletado do país, registrando aproximadamente 24,5 milhões de toneladas coletadas em um ano. Por outro lado, a região que se destaca em termos de coleta per capita é a Centro-Oeste, com quase 319 kg de RCD por habitante/ano. A figura 9 apresenta de forma gráfica o desperdício anual de insumos gerados.

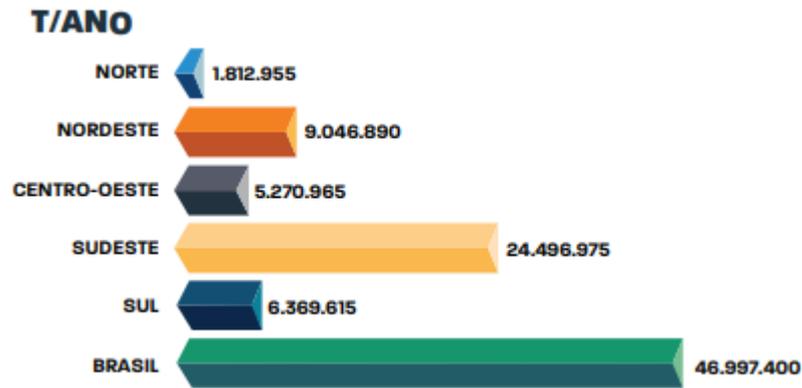
Figura 9 - Quantidade de RCD no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2021

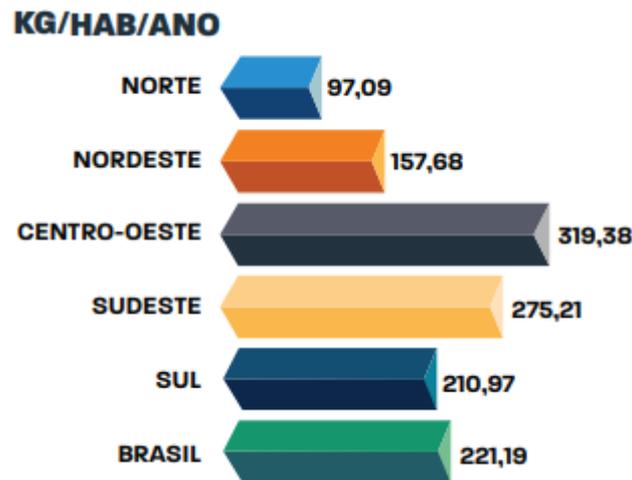
A figura 10 apresenta as informações de geração de resíduos de construção divididos por região do Brasil e suas respectivas taxas per captas.

Figura 10 - Quantitativo de Tonelada/Ano de RCD por região



Fonte: ABRELPE, 2021

Figura 11 - Quantitativo Kg/Habitante/Ano por Região



Fonte: ABRELPE, 2021

A figura 11 por sua vez, traz os quantitativos de insumos gerados por habitante por ano, mostrado por região do Brasil.

A fim de mudar o cenário descrito e acelerar a transição sustentável na CC, cabe uma análise do ciclo de vida de um edifício, visando identificar em suas etapas oportunidades de circularidade e poderão ser implementadas em cada uma dessas etapas.

2.4 O CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO

Para construções, o artigo intitulado, *Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers*, descrito por Adams *et al.* (2017) define alguns aspectos da EC durante o ciclo de vida de um edifício conforme apresenta a figura 12.

Figura 12 - Aspectos de EC durante o ciclo de vida de um edifício

Estágio do Ciclo de Vida	Aspectos de Economia Circular
Projeto	Projetar visando à adaptabilidade e flexibilidade
	Projetar visando à padronização
	Projetar visando à redução de resíduos
	Projetar objetivando modularizações
	Especificar materiais recuperados
	Especificar materiais reciclados
Manufatura e <i>Supply</i>	Utilizar conceito de “Eco-Design”
	Utilizar menos materiais – otimizar o uso destes
	Utilizar menos materiais perigosos (contaminantes)
	Utilizar materiais com maior vida útil
	Prever a desmontagem do produto
	Prever a padronização do produto
	Prever sistemas de devolução
	Utilizar de logística reversa
Construção	Reduzir a geração de resíduos
	Procurar reutilizar materiais
	Procurar reciclar materiais
	Utilizar peças pré-fabricadas
Reformas	Reduzir geração de resíduos
	Reduzir necessidade de manutenção
	Utilizar recursos de fácil reparação e substituição
	Promover adaptabilidade
Fim do Ciclo de Vida	Promover flexibilidade
	Desconstrução
	Possibilitar demolição seletiva
	Reutilização de componentes
	Reciclagem de materiais

Fonte: Adaptado ADAMS *et al.* (2017)

Adams *et al* (2017), descrevem que, no entanto, esses aspectos listados na figura 12 carecem de adoção em larga escala e muitas vezes são aplicados isoladamente dentro de um determinado setor ou projetos, levando em consideração os aspectos econômicos ao longo do ciclo de vida de um edifício.

Embora Adams *et al* (2017), tenha listado uma série de oportunidades para promover a circularidade ao longo do ciclo de vida da CC, uma pesquisa realizada pelos autores com 110 pessoas envolvidas mostrou que as pessoas não têm um nível alto de conscientização para a EC com a CC. Houve um consenso a partir das respostas tabuladas de que existe atualmente um desconhecimento do que pode ser feito com produtos em fim de vida.

Portanto, a aplicação dos conceitos de economia circular propicia o desenvolvimento sustentável, porque implementa um novo sistema econômico com ciclo de produção e consumo fechado, onde contribui com a diminuição da geração de resíduos. Nesse sentido, Paschoalin Filho (2019) reforça que o setor de construção civil deve inserir uma gestão de resíduos com o pensamento circular, para obter maior valoração de insumos gerados, priorizando ter maximização de uso das matérias-primas e reduzindo insumos que gerariam impactos ambientais negativos.

Alguns autores destacam os benefícios da economia circular na CC:

- Murray, Skene e Haynes (2017) – Cria um circuito econômico eficiente e fechado, com baixa utilização de energia e baixa emissão de poluentes.
- Ghsellini, Cialani e Ulgiati (2016) – Promove o uso apropriado e ambientalmente correto dos recursos, visando à implementação de uma economia mais ecológica e do bem-estar social.
- Sauvé, Bernard e Sloan (2016) – Forma um sistema em que a reutilização e a reciclagem fornecem substitutos para o uso de materiais virgens e recursos naturais, melhorando a capacidade das gerações futuras atenderem suas necessidades.
- Preston (2012) - Redução do consumo de matérias-primas e recursos naturais, promovendo o desenvolvimento sustentável.
- Geissdoerfer et al. (2017) – Estabelece uma economia regenerativa e de longa duração, em que os fluxos de entrada e saída são geridos por um ciclo fechado.

Para compreender a visão dos gestores de construção acerca dos benefícios da EC, Chagas (2022) desenvolveu uma pesquisa com algumas construtoras de Florianópolis-SC-Brasil. Os resultados mostraram que no que se refere aos tipos de resíduos resultantes da construção civil, pode ser observado que cada método e projeto construtivo demanda uma variedade e quantidade de insumos, que trará demonstrativos diferentes frente a quantidade de resíduos. Dessa forma, foi possível observar que um dos princípios da economia circular se entrelaça com a realidade das práticas da construção civil no que conecta com o conceito dos 3R 's: Reduzir, reciclar

e reutilizar. Logo, para uma gestão de resíduos efetiva é necessário primeiramente entender os tipos de resíduos que acarretam cada obra, Fundação Ellen MacArthur, (2012) apud Chagas, (2022). A figura 13 mostra através de o modelo 3R, que significa reutilizar, reciclar e reduzir como atitudes benéficas frente aos resíduos gerados pela humanidade.

Figura 13 - Ciclo dos 3R's da Sustentabilidade



Fonte: CHAGAS, 2022 (ADAPTADO)

Em relação as ações das construtoras frente a EC, os entrevistados destacam que durante a etapa estrutural da obra há ocorrência de sobras de chapas, escoras de madeira, barras de aço de diferentes bitolas e concreto. Nas etapas de alvenaria, hidráulica, elétrica, acabamento, os entrevistados mencionaram as sobras de embalagens, tijolos quebrados, cerâmicas e vidros quebrados, pedaços de PVC e de fiação. Existem também alguns materiais inflamáveis. Em resumo, pode-se destacar quatro resíduos que possuem mais sobras: madeira, barras de aço, sobras de concreto e embalagens.

Aos insumos gerados, a madeira é sem dúvidas a de maior impacto nos insumos gerados, porque seu uso é vasto, por exemplo: formas e paletes. Além disso, o aço, embalagens plásticas, o próprio concreto são exemplos de materiais que podem não ter um fim útil pelo seu curto tempo para utilização. (CHAGAS, 2022).

Sobre a otimização da obra e não geração de resíduos um dos participantes fala que uma solução é fazer a padronização, isto é, criar uma linha de produtividade e dimensionar de acordo coma robustez do projeto, o que leva as construtoras serem mais precisas na aquisição e geração de resíduos. (CHAGAS, 2022)

À reutilização, de forma geral a madeira foi o recurso que mais teve realocação de utilidade. Podendo reutilizar chapas para fazer mesas e bancadas, formas etc. Além da madeira o aço também tem seu papel importante em reuso. Isso mostrou que as empresas estão ligadas às práticas de reciclagem e reaproveitamento, alinhando-se com sustentabilidade, atribuindo valor econômico aos resíduos. (CHAGAS, 2022)

Em relação à reciclagem, os entrevistados apresentaram diferentes respostas, algumas construtoras selecionam os resíduos e os encaminha para uma empresa de reciclagem. Em contrapartida, elas devem ter uma obrigação legal em fornecer recibos para as construtoras que comprovem que os materiais foram destinados ao centro de triagem. A realidade enfrentada pelas empresas é que eles próprios não reciclam, e apenas o entulho que é levado é destinado corretamente. (CHAGAS, 2022)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As metodologias adotadas no presente trabalho se caracterizam por estudo de caso e análise bibliométrica.

Em relação a metodologia de estudo de caso, segundo Ventura (2007) a mesma contribui para adquirir conhecimento do fenômeno estudado a partir da exploração intensa de um único caso ou múltiplos casos. Yin (2002) define caso como determinado fenômeno dentro de um contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão explícitos, onde o pesquisador tem pouco controle sobre a relação entre o fenômeno e o contexto. Em relação a coleta de dados, Stake (1995) salienta que não há um ponto inicial específico para o levantamento dos mesmos, podendo este sofrer alterações fundamentais durante a investigação.

Em estudos de caso, de natureza qualitativa, Stake (1995) recomenda a utilização da observação, entrevista e análise de documentos. Para Yin (2002), é possível explorar pelo menos seis fontes de evidências, documentação, arquivos registrados, entrevistas, observações diretas, dos participantes e artefatos físicos, sendo deles extraído os pontos fortes e fragilidades no âmbito geral comparativo.

Em relação a metodologia de análise bibliométrica (AB), trata-se de uma estratégia proposta por Pritchard (1969), em meados anos 60, no qual aplica-se métodos estatísticos e matemáticos na análise de obras literárias. Silva (2011) avalia AB como um método flexível capaz de avaliar a tipologia, o quantitativo e qualitativo das fontes de informação em pesquisas, obtendo o produto: indicadores científicos. Outra definição interessante é a de Okubo (1997), que identifica a AB como examinadora de artigos, para mapear comunidades acadêmicas, redes de pesquisadores e seus motivadores, para que no fim se consiga, por meio da criação de indicadores comuns entre eles. Por fim, Ensslin *et al* (2010), descreve que o conceito da bibliometria é baseado na evidenciação quantitativa dos parâmetros de um conjunto definido de artigos, para gerir informações e conhecimento científico sobre dado assunto.

Para o presente trabalho optou-se pela análise de documentos, que se deu através da análise bibliométrica na base de pesquisa *Scopus*, adotando como ponto de partida publicações relacionadas a Construção Civil e a Economia Circular. E num segundo momento, foi realizada a análise do relatório do Fórum Econômico Mundial (2017), intitulado de *Shaping the Future of Construction – Inspiring Innovators redefine the industry* (em português, Modelando o Futuro da Construção - Inovadores Inspirados redefinem a Indústria) dada a vasta disponibilidade de cases no setor da construção civil e a riqueza de detalhes.

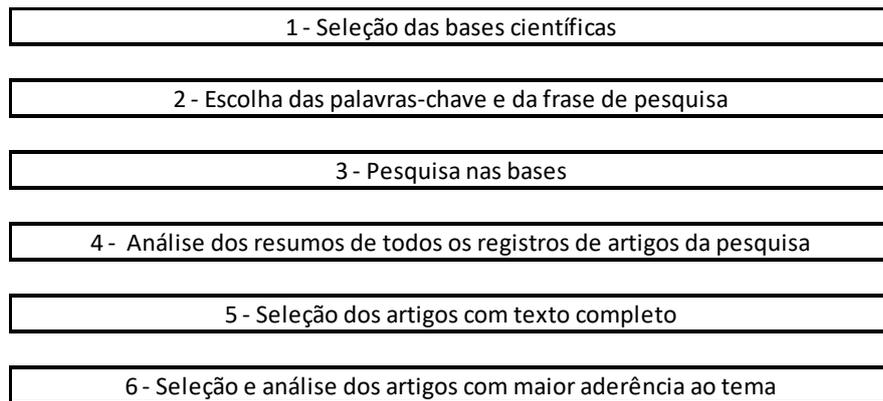
Portanto, a pesquisa foi dividida em três etapas, sendo elas: na primeira etapa foi desenvolvida a análise bibliométrica, que permitiu identificar os objetivos das publicações, as metodologias, resultados, fases da construção civil no qual foram aplicadas ações de circularidades e as possíveis lições aprendidas. Na segunda etapa foram analisados casos reais relacionados a construção civil e levantados os desafios, fases da construção civil no qual foram aplicadas ações de circularidades, as intervenções circulares e as respectivas lições aprendidas. Na terceira etapa foram levantadas oportunidades de circularidade que poderão ser adotadas em diferentes fases do ciclo de vida da construção civil, essas oportunidades portanto, foram categorizadas em sete diferentes eixos: (1) ciclo de vida, (2) *stakeholders*, (3) materiais, (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, (5) tecnologia; (6) resíduos e (7) processos e métodos.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A revisão bibliográfica foi realizada como base no trabalho de Freitas (2013), conforme o modelo da figura 14, cada etapa será apresentada de forma detalhada.

Figura 14 - Etapas para pesquisa bibliográfica



Fonte: Freitas, 2013

1ª etapa - Seleção das bases científicas

Nessa etapa foi realizada a escolha das fontes de utilização para embasamento da revisão bibliográfica. Portanto, foi escolhida a base Scopus, e o acesso se deu por meio do Portal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

2ª etapa - Escolha de palavras-chave e frase de pesquisa

Nesta etapa foram escolhidos os termos para pesquisa e os respectivos filtros: *TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND civil AND construction) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, ar) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , English)*), ou seja, os resultados foram embasados a partir dos conceitos de economia circular, construção civil, delimitados aos últimos 4 anos, analisando somente artigos científicos e com linguagem inglesa.

3ª etapa – Pesquisa nas bases

Nessa etapa foi feito a pesquisa na base de dados descrita anteriormente para obter o maior número de artigos direcionados ao tema de pesquisa proposto. O resultado retornou 26 artigos na base Scopus.

4ª etapa – Análise dos resumos de todos os registros de artigos identificados na pesquisa

Após análise dos resumos dos artigos obtidos, foi necessário identificar as publicações com maior relevância ao tema de pesquisa, resultando assim, em 10 artigos dos 26 inicialmente encontrados, ou seja, 38,5% dos artigos.

5ª etapa – Seleção dos artigos com texto completo

Após a seleção dos 10 artigos com aderência ao tema, buscou-se analisar os artigos completos, entretanto, apenas 6 artigos estavam disponíveis com o texto completo e fazendo jus a conexão de EC e construção civil na base Scopus, sendo assim, eles foram selecionados para o estudo.

6ª etapa – Seleção e análise dos artigos com maior aderência ao tema

A partir dos 6 artigos aderentes ao tema, foi feito o levantamento do objetivo, metodologia, resultados, fase de aplicação da EC na CC, e lições aprendidas por cada um deles. A lista desses artigos é mostrada na Tabela 1. Segue de forma detalhada informações contidas na tabela:

- Código: criado para identificar o artigo ao longo da pesquisa;
- Descrição do artigo: Título original;
- Autores: Lista de autores colaboradores;
- Ano: Ano em que foi publicado;

Portanto, serão apresentadas as descrições resumidas sobre os artigos analisados, seguidos pelos códigos de identificação criados pelo autor deste documento, título, objetivo, metodologia, resultado e a identificação do ciclo de vida em que o conceito de EC foi aplicado.

CÓDIGO DO ARTIGO: L1

Decision-Making Problems in Construction Projects Executed under the Principles of Sustainable Development—Bridge Construction Case

Objetivo: O artigo realiza uma análise de estudos de caso na tentativa de resolver os desafios de gestão relacionados à construção, operação e descomissionamento de pontes. A pesquisa baseia-se em um questionário realizado entre gestores de projetos de engenharia civil e explora

a possibilidade de adaptação dos princípios da Economia Circular em projetos de construção de pontes, especialmente no contexto da rastreabilidade dos materiais de construção utilizados.

Metodologia: O artigo utiliza um estudo qualitativo-quantitativo híbrido das condições para a execução de projetos de construção de pontes sob os princípios do desenvolvimento sustentável. Foi feita a aplicação de um questionário para mais de 1000 profissionais da construção com bastante experiência no mercado.

Resultados: Os resultados mostraram que os entrevistados concordam que a fase de projeto & construção e a estrutura juntas, são essenciais para viabilizar a sustentabilidade na construção do projeto. Estratégias bem implementadas, contribuem para redução do custo de operação e manutenção, que beneficia a construção sustentável.

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Fase de Projeto

Lição aprendida: Profissionais menos qualificados e com pouca experiência contam com pouco conhecimento acerca da sustentabilidade e suas práticas.

CÓDIGO DO ARTIGO: L2

Challenges to implementing circular development – lessons from London

Objetivo: A pesquisa buscou apresentar as dificuldades que as atividades circulares de baixo valor encontram ao competir por espaço em Londres, e mostrou que o desequilíbrio entre oferta e demanda local por produtos circulares impede a expansão.

Metodologia: A pesquisa analisou os principais desafios para implementar dois sistemas circulares de provisão (construção circular e sistemas alimentares circulares) e dois processos (regeneração ecológica de um local e urbanismo tático circular). Adotou-se uma abordagem de estudo de caso. Londres foi escolhida para a pesquisa. Sendo assim, dois casos de Londres foram analisados o *Queen Elizabeth Olympic Park (QEOP)* e Brixton.

Resultados: A pesquisa confirma a precisão da estrutura desenvolvida usando a literatura existente. No entanto, ele identifica alguns desafios de implementação e destaca que os desafios serão diferentes, dado o sistema/processo. Para melhorar sua utilidade, análises adicionais de experimentos circulares existentes, em uma gama de atividades e contextos, poderiam enriquecer a compreensão das barreiras para a implementação e ajuda a desenvolver ainda mais o quadro.

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Fase de reforma

Lições aprendidas: Falta de dados que apresente os benefícios da adoção do desenvolvimento circular prejudica o apoio político. Possibilidades de conflitos entre a dependência da sociedade civil para se engajar em ações circulares versus resistência pública. Importância da prestação de contas e transparência no processo de implementação e de uma estrutura regulatória para incentivar o desenvolvimento circular. Além disso, atividades circulares de baixo valor foram incapazes de competir para espaço de longo prazo na cidade, o desequilíbrio entre oferta local e a procura de produtos circulares impediu o aumento das operações em escala, e a falta de dados dificultou a para os formuladores de políticas e investidores de desenvolver uma transformação circular.

CÓDIGO DO ARTIGO: L3

From Buildings' End of Life to Aggregate Recycling under a Circular Economic Perspective: A Comparative Life Cycle Assessment Case Study

Objetivo: Este estudo teve como objetivo fazer uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais do agregado reciclado obtido a partir de resíduos de construção e demolição de um edifício no fim de sua vida. Este estudo apresentou uma compilação de inventário de ciclo de vida e estudo de caso de avaliação de ciclo de vida de dois edifícios na França.

Metodologia: Para realizar o estudo de avaliação do ciclo de vida (ACV), adotou-se o freeware OpenLCA v.1.10. Para estudo de fluxos e processos optou-se pelo banco de dados Ecoinvent® versão 3.5. Foi utilizado o método de impacto da norma EN 15804 + A1. Este método de impacto inclui indicadores de impacto e indicadores de fluxos.

Resultados: Os resultados indicam que o transporte dos resíduos, seu tratamento e principalmente o tratamento do amianto são as fases mais impactantes. Por exemplo, no estudo de caso da primeira edificação, o transporte e o tratamento de resíduos atingiram 35% do impacto total do aquecimento global. Tratamento cuidadoso, proativo e estratégico, geolocalização e planejamento de transporte são recomendados para as partes interessadas e tomadores de decisão envolvidos, a fim de garantir implicações mínimas de sustentabilidade durante a implementação de abordagens de EC para RCD.

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Fim do Ciclo de Vida

Lições Aprendidas: Os impactos ambientais do fim de vida dos edifícios variam muito de um edifício para outro com, por exemplo, 23,1 kg de dióxido de carbono (CO₂) para edifício B e 42,2 kg CO₂ para edifício A para 1 m² de superfície de piso de edifício demolido, ou seja, o

valor quase duplica para A comparado a B no indicador de aquecimento global. A otimização da geolocalização dos locais de demolição e da estação de tratamento é essencial também; e implicações sustentáveis. O impacto da produção de materiais agregados será influenciado pelo fim de vida de um edifício.

CÓDIGO DO ARTIGO: L4

Modularisation as enabler of circular economy in energy infrastructure.

Objetivo: Através de uma Revisão Sistemática da Literatura, este artigo deriva a lacuna de conhecimento sobre a ligação entre EC e modularização em infraestrutura de energia. A publicação discute as políticas existentes, fornece recomendações de políticas para promover a EC Modular em infraestrutura de energia e sugere uma agenda de pesquisa.

Metodologia: Foi realizado a análise de estudo de caso do Projeto modular Yamal LNG para comparar dois perspectivas: Modularização tradicional e Modular EC. Essa nova modularização EC pode ser definida como “a fabricação em fábrica, transporte e instalação no local de módulos que visam facilitar a reutilização, reparação, substituição, reciclagem de módulos, componentes e materiais”.

Resultados: Os resultados mostram que a infraestrutura modular pode ser reconfigurável e estender/adaptar seu ciclo de vida dissociando a vida útil da infraestrutura de seus módulos. Uma pré-condição para alcançar as vantagens esperadas do “Modular CE” é a avaliação das opções de ciclo de vida de componentes/módulos no fases iniciais do projeto

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Fase de Projeto

Lições Aprendidas: Considera-se essencial que as partes interessadas envolvidas no planejamento e entrega de energia e infraestrutura se familiarize com os conceitos e práticas de “Modularização EC” para desenvolver infraestrutura de energia sustentável reduzindo o desperdício, as emissões de CO₂, minimizar o uso de matérias-primas etc.

CÓDIGO DO ARTIGO: L5

Study of possibilities of using special types of building and demolition waste in civil engineering

Objetivo: Este artigo teve como objetivo projetar e preparar um processo de otimização para especificar os novos (e alguns existentes) tipos de resíduos de construção e demolição e subprodutos de energia, visando determinar critérios claros com base em que esses resíduos poderiam ser usados no futuro.

Metodologia: Foi elaborado um cálculo multicritério da otimização, que se baseou nos principais critérios de viabilidade que regem aproveitamento de cada tipo de resíduo. Realizou-se um processo de avaliação com vários trabalhos. A ênfase foi verificada no grau de pré-tratamento, dificuldade de pré-tratamento, disponibilidade, quantidade cumulativa, dispersão de parâmetros e espectro de aplicação.

Resultados: Os resultados do cálculo de otimização mostram que os resíduos e energia mais adequados para construção e demolição subprodutos são resíduos de vidro de painéis solares do tipo QS, cinzas volantes de alta temperatura e concreto reciclado.

A maioria das construções e demolições resíduos e subprodutos de energia têm potencial para reuso.

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Fases de Projeto, Implementação, Manufatura e Supply, Fase Final.

Lições Aprendidas: A maioria das construções e demolições resíduos e subprodutos de energia têm potencial para reuso.

CÓDIGO DO ARTIGO: L6

Construction and demolition waste in Romania: The route from illegal dumping to building materials.

Objetivo: O documento apresenta uma visão crítica sobre as questões de gestão de resíduos de construção e demolição (GRCD) na Romênia. Destacam-se cinco etapas principais relacionadas à GRCD. Visando assim levantar a rota pretendida, analisando as frações de resíduos que podem ser recicladas e/ou reutilizadas como materiais de construção, através de sistemas integrados de gestão de resíduos (SIGR), que permitem uma economia circular em municípios urbanos e rurais.

Metodologia: Com base na revisão da literatura, relatórios ambientais e observações de campo; o papel identifica cinco principais estágios, sendo eles: Descarte Usual; Despejo em aterros Municipais; Tratamento e Reuso nas construções; Sistema de Gerenciamento Integrado Regional; Materiais de Construção.

Resultados: Observou-se que várias rotas para a sustentabilidade na gestão de RCD são possíveis na Romênia. O artigo revela algumas práticas promissoras em áreas urbanas (projetos-

piloto) e analisa as perspectivas futuras no apoio à reutilização, recuperação, e atividades de reciclagem de materiais de construção dos resíduos em uma abordagem de economia circular.

Fase da aplicação da economia circular na construção civil: Projeto e Fim do Ciclo de vida

Lições Aprendidas: Para conseguir a transição sustentável, requer que os municípios urbanos e rurais façam parte de um sistema integrado de gestão de resíduos. Projetar áreas de armazenamento especiais e contêineres para atividades de coleta e descarte de RCD, a expansão do processamento de co-resíduos atividades na indústria cimenteira, o desenvolvimento do setor de agregados reciclados apoiado por um mercado econômico circular confiável.

O quadro 1 mostra resumidamente o código de identificação criado pelo autor do presente trabalho, o(s) autor(es) de cada um dos artigos, o título original, o ano de publicação, objetivo e metodologia.

Quadro 1 - Resumo

Código	Autor	Título	Ano de Publicação	Objetivo	Metodologia
L1	Jarosław Górecki e Pedro Núñez-Cacho	<i>Decision - Making Problems in Construction Projects Executed under the Principles of Sustainable Development—Bridge Construction Case</i>	2022	Analisar estudos de caso na tentativa de resolver os desafios de gestão relacionados à construção, operação e descomissionamento de pontes.	Estudo qualitativo-quantitativo com aplicação de questionário para profissionais da construção civil.
L2	Jo Williams	<i>Challenges to implementing circular development – lessons from London</i>	2022	Apresentar dificuldades que as atividades circulares em Londres, e o desequilíbrio entre oferta e demanda local por produtos circulares impede a expansão.	Aplicação de 2 sistemas circulares de provisão (construção circular e sistemas alimentares circulares) e dois processos (regeneração ecológica e urbanismo tático). Abordagem de estudo de caso.
L3	Ambroise Lachat, Konstantinos Mantalovas, Tiffany Desbois, Oumaya Yazoghli-Marzouk, Anne-Sophie Colas, Gaetano Di Mino e Adélaïde Feraille	<i>From Buildings' End of Life to Aggregate Recycling under a Circular Economic Perspective: A Comparative Life Cycle Assessment Case Study</i>	2021	Avaliar de forma quantitativa os impactos ambientais do agregado reciclado obtido a partir de resíduos de construção e demolição de um edifício no fim de sua vida.	Estudo de avaliação do ciclo de vida (ACV), através de software e normas.
L4	Benito Mignacca, Giorgio Locatelli e Anne Velenturf	<i>Modularisation as enabler of circular economy in energy infrastructure</i>	2020	Desenvolver a construção ligando EC e a modularização	Comparativo entre modularização tradicional e modularização com aplicação de EC. Abordagem de estudo de caso.
L5	Rostislav Drochytka, Zdeněk Dufek, Magdaléna Michalčíková, Jakub Hodul	<i>Study of possibilities of using special types of building and demolition waste in civil engineering</i>	2020	Projetar e preparar processo de otimização p/ reutilização de resíduos da CC na indústria.	Cálculo multicritério para analisar principais critérios de viabilidade
L6	Florin-Constantin Mihai	<i>Construction and demolition waste in romania: The route from illegal dumping to building materials</i>	2019	Apresentar a reciclagem e/ou reutilização de resíduos através de SIGR.	Revisão de literatura, relatórios ambientais e observações de campo. Identificação de estágios dos resíduos.

Fonte: Própria

Além de entender o objetivo e a metodologia aplicada nas publicações, através de uma análise mais detalhada, buscou-se levantar as fases de aplicação da EC na construção civil, as principais ações realizadas dentro de cada fase, bem como as vantagens encontradas em cada uma das iniciativas, conforme apresenta o quadro 2.

Quadro 2 - Fase de aplicação da EC, Ações e Vantagens

Artigo	Fase de aplicação da EC	Ações	Vantagens
L1	Projeto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nos projetos de construção, considerar a perspectiva completa das fases do ciclo de vida. ▪ Considerar o interesse de cada parte interessada na respectiva fase de projeto. ▪ Projetar de forma que o tempo para reparos seja o maior possível. ▪ Criação de normas legais que favoreçam a construção sustentável. ▪ Elaborar tecnologias modernas que alinhem o desenvolvimento sustentável e EC. ▪ Priorizar o uso de materiais locais assegurando o respeito a natureza e minimizar o impacto ambiental negativo. ▪ Criar um banco de boas práticas para construção sustentável. ▪ Considerar a filosofia do desenvolvimento socioeconômico sustentável e o respeito com o meio ambiente. ▪ Ao substituir estruturas antigas, considerar o processo de forma metódico e cuidadoso. ▪ Elaborar um plano de reutilização dos materiais no fim do ciclo de vida. ▪ Listar os tipos de materiais que podem ser reutilizados, recondicionados e reciclados. ▪ Projetar cada fase considerando a pegada de carbono, ou seja, a soma das emissões de gases causada pela construção civil em todo seu ciclo de vida. ▪ Selecionar materiais e soluções de design, considerando a pegada de carbono. ▪ Gerenciar materiais através da rastreabilidade a fim de identificar seu reuso ou não. ▪ Implementar avaliação do ciclo de vida visando atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminuição do custo nas fases de operação e manutenção. ▪ Otimização do tempo de construção. ▪ Inserção de Design Solutions e o envolvimento de atores experientes nesse tipo de projeto, diminui o risco de falhas. ▪ Redução significativa na emissão de CO2.

L2	Reforma	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementar sistemas e processos circulares: fechamento de ciclo, regeneração ecológica e adaptação. ▪ Inserir materiais reciclados em novos projetos. ▪ Reaproveitar resíduos de demolição dentro da construção. ▪ Elaborar uma política de gestão de resíduos durante a construção. ▪ Estabelecer metas de utilização de materiais oriundos da demolição e da construção. ▪ Promover incentivos para possíveis investidores. ▪ Envolver poluidores e beneficiadores (que tiveram terras valorizadas), para contribuir financeiramente na criação de um fundo afim de bancar a limpeza local e futuras manutenções, bem como adotar medidas circulares para preservação da localidade. ▪ Criar de legislação eficiente para trabalhos de construção circular e desperdício de comida. ▪ Projetar o financiamento público para infraestrutura e biorremediação local. ▪ Utilizar KPI's na fase de planejamento para reduzir riscos relacionados ao investimento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Novos processos de circularidade em projetos. ▪ Redução de custos através de operação em escala. ▪ Otimização do tempo de construção. ▪ Aumento do número de edifícios adaptáveis/ recicláveis. ▪ Criação de mercados locais para resíduos de construção. ▪ O planejamento do uso da terra pode intervir na comercialização de terrenos, fornecendo locais de longo prazo para atividades circulares, influenciando o desenvolvimento para garantir que os princípios circulares sejam adotados.
L3	Fim do ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar a tipologia do edifício demolido e o seu tamanho, a fim de identificar o valor do m² de resíduo (ex: piso) no indicador de aquecimento global. ▪ Comparar o impacto dos agregados reciclados e dos agregados virgens. ▪ Analisar as fases maior impacto do fim de vida da edificação (Ex: fase de demolição, fase de transporte ou tratamento de resíduos). ▪ Otimizar processos de tratamento na gestão avançada de resíduos. ▪ Otimizar o trajeto entre local de demolição e local de tratamento dos resíduos. ▪ Planejar cuidadosamente as rotas de transporte antes da demolição de quaisquer edifícios. ▪ Analisar o impacto ambiental da demolição antes de decidir por demolir um prédio. ▪ Organizar o local, otimizar o transporte e o consumo de máquinas de construção, quando a demolição não é evitável. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução na emissão de CO₂. ▪ Reciclagem do material. ▪ Otimização de processos de tratamento. ▪ A depender do método de alocação, vai influenciar em alguns indicadores.
L4	Projeto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adaptar a infraestrutura modular para ser reconfigurável, e assim estender/adaptar seu ciclo de vida, dissociando a vida útil da infraestrutura de seus módulos. ▪ Desenvolver publicações trazendo os conceitos de infraestrutura de energia, modularização e EC juntos. ▪ Implementar políticas destinadas a promover a modularização podem melhorar os desempenhos na desmontagem, manutenção, atualização, reutilização e reciclagem. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infraestrutura sustentável. ▪ Otimização do tempo de projeto e custo. ▪ Desenvolvimento de novas metodologias de construção. ▪ Redução de resíduos de construção e demolição. ▪ Redução da necessidade de energia do ciclo de vida e material de consumo para

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potencializar ao máximo uma maior integração entre as áreas políticas sobre energia, recursos e EC, e infraestrutura. ▪ Desenvolver planejamento e entrega de infraestrutura energética para que se torne sustentável, e conseqüentemente reduzir resíduos, emissões de CO₂, e minimizando o uso de matérias-primas. 	<p>infraestrutura e, possibilitando o alcance de metas relacionadas as políticas de energia e recursos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Existência de métodos que permitem avaliar o impacto da “EC Modular” já foram desenvolvidos em um ambiente acadêmico a nível industrial. ▪ Desenvolvimento de mais infraestruturas energéticas sustentáveis.
L5	Projeto, Manufatura E Supply, Final De Ciclo De Vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar um otimizando o cálculo multicritério, baseado em uma especificação dos resíduos, com base na legislação existente. ▪ Criar legislação sobre especificação dos resíduos. ▪ Utilizar como critério o grau de pré-tratamentos, a dificuldade do pré-tratamento, disponibilidade, quantidade acumulada do material, parâmetro de dispersão e o espectro de aplicação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem. ▪ Menor custo de insumos. ▪ Viabilidade construtiva. ▪ O resultado da otimização mostrou que os resíduos mais adequados para fabricação de subprodutos são: resíduos de vidro de painéis solares do tipo QS, cinzas volantes de alta temperatura e concreto reciclado. ▪ A maioria dos resíduos provenientes da construção e demolição tem potencial para se usar no futuro. ▪ Os resíduos não necessariamente precisam ser tratados para serem usados, porém se faz necessário uma análise detalhada financeira e de suas propriedades, para propor tratamento se necessário.
L6	Projeto e Fim do ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolver plantas de britagem em cada área urbana e plantas de britagem móveis para construção empresas (recuperação no local) ou destinadas a pequenas cidades e comunidades rurais; ▪ Criação de áreas especiais de armazenamento e contêineres para atividades de coleta e descarte de C&DW. ▪ Expandir o processamento de co-resíduos nas atividades da indústria de cimento romana. ▪ Desenvolver o setor de agregados reciclados apoiado por um mercado econômico confiável. ▪ Implementar nos municípios urbanos e rurais um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento de novas tecnologias. ▪ Reuso "in loco" e áreas vizinhas de agregados. ▪ Utilização de um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos. ▪ Reincorporação de materiais na construção civil e reciclagem para geração de novos produtos.

Fonte: Própria

4.2 ANÁLISE DOS CASOS REAIS

Nesse tópico será aplicada uma análise qualitativa de casos reais de construções no qual adotou-se o conceito de circularidade e construção sustentável. Portanto, os casos foram selecionados, como base o documento do Fórum Econômico Mundial (2017), intitulado de *Shaping the Future of Construction – Inspiring Innovators redefine the industry*” (em português, Modelando o Futuro da Construção - Inovadores Inspiradores redefinem a Indústria). Embora o relatório apresente dez *cases* detalhados, para o presente trabalho optou-se por uma análise qualitativa de sete, dada a clareza de uma interseção dos conceitos da construção civil e Economia Circular.

Pretende-se, portanto, apresentar os casos selecionados, a etapa do ciclo de vida da construção civil no qual foram realizadas as intervenções circulares, o tipo de intervenção e finalmente as lições aprendidas nos respectivos projetos.

Case 1: *The Edge*

Trata-se de um prédio privado, de escritórios localizado em Amsterdam – Holanda, com capacidade para 1700 trabalhadores, projetado com ênfase na produtividade e na sustentabilidade.

Quadro 3 - The Edge - Informações

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
Combinar um projeto de construção inteligente e inovadoras tecnologias para implementar sustentabilidade, interação da força de trabalho e experiência do usuário final	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalação de vidro de vários andares voltado para o norte átrio, que admite luz natural abundante enquanto no as paredes de concreto da fachada sul absorvem o calor (e protegem o interior da luz solar). ▪ Construção de Paredes de concreto da fachada sul absorvem o calor (e protegem o interior da luz solar), ▪ Instalação de Painéis solares nessa fachada e no telhado converter essa luz do sol em energia; ▪ Interconectar elementos relativos à internet das coisas (<i>IOT -internet of things</i>) integrando os elevadores, o sistema de iluminação e de refrigeração; ▪ Controle da iluminação através de aplicativo Smartphone. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar as necessidades e desejos do usuário como base para design e engenharia. ▪ Selecionar uma equipe de projeto que seja multifuncional e muito motivada. ▪ Colaborar com os fornecedores nos processos de inovação. ▪ Envolver o órgão regulador logo no início do processo.

Fonte: Próprio Autor

Vale sinalizar o que o *The Edge*, foi considerado o escritório mais sustentável do mundo, dado a sua capacidade de armazenar energia e as suas características arquitetônicas. Nota-se neste caso que a aplicação dos conceitos na fase de projeto são essenciais para que a construção

seja otimizada e alinhada aos princípios de sustentabilidade. No presente caso, explorou-se o potencial de gerar energia, o uso da internet das coisas e considerou-se o engajamento das partes interessadas, sendo elas, funcionários, fornecedores e dos órgãos reguladores.

Figura 15 - The Edge vista externa



Fonte: AGENDA, 2017

Figura 16 - The Edge vista interna



Fonte: AGENDA, 2017

A figura 15 e 16 apresentam a fachada e a parte interna do prédio, respectivamente.

Case 2: Hospital *New Karolinska*

Consiste num Hospital público-privado, com uma área de construção de 320000m² composto de 12000 quartos, 35 centros operatórios e 17 unidades de ressonância magnética, construído no norte de Estocolmo, Suécia. A ideia foi de aproveitar a modelagem de informações de construção em todo o ciclo de vida para aprimorar o projeto, a construção, as operações, a manutenção e o atendimento ao paciente e reduzir o impacto ambiental por meio de planejamento metódico, o uso ideal de pré-fabricação e tecnologias verdes.

Quadro 4 - Hospital New Karolinska

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
Cronograma apertado, intenso processo minucioso público e as operações contínuas do antigo hospital, e precisava ser flexível o suficiente para acomodar tendências futuras na área da saúde.	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> Adoção de um modelo BIM (<i>Building Modeling Construction</i>) avançado em todo o ciclo de vida, criando uma única plataforma de dados na qual designers, empreiteiros e, eventualmente, gerentes de instalações poderiam colaborar. Pré-fabricação dos elementos, diminuindo a geração de resíduos, além de minimizar o trabalho de mão de obra e evitar a necessidade de andaimes; Criação de um site com apresentação de todo o projeto, o Skanska Green, com soluções em todas as etapas. E o processo de construção foi cuidadosamente planejado para minimizar o impacto ambiental. Implantação de uma usina de concreto local para evitar viagens de caminhão. 	<ul style="list-style-type: none"> O envolvimento de gerentes e operadores contribuiu para maior efetividade no processo. Ter uma equipe multiétnica para transferência de conhecimento. Implantar BIM em todo o ciclo de vida do projeto. Enfatizar o BIM para fornecedores e subcontratados. Realizar o benchmark de empreendimentos do mesmo setor para identificar

		<ul style="list-style-type: none"> • Os resíduos da construção foram sistematicamente analisados com o objetivo de reduzi-los a zero, comparado a antes que chegava a 5% apenas. • As cabines de trabalho são “cabines ambientais”, capazes de minimizar o consumo de energia através do calor das bombas. E houve uma instalação de reciclagem no local. • Os resíduos foram separados e transportados para um local com instalação de reciclagem através de um sistema de tubulação subterrânea. 	procedimentos de cuidados ideais, fluxos de trabalho e condições de trabalho.
--	--	---	---

Fonte: Próprio Autor

O resultado do projeto mostrou como o modelo *BIM (Building Modeling Construction)* e a pré-fabricação puderam aumentar a velocidade e a qualidade de construção e comissionamento, e assumiu um papel de liderança a respeito da sustentabilidade. A modelagem *BIM* trouxe uma gama de benefícios e pagou todo o investimento feito durante o ciclo de vida da construção. O modelo atendeu aos termos da certificação do *Green Building Council* da Suécia conforme exigido pela cidade de Estocolmo, e objetivou ainda, tornar a construção mais verde do mundo.

Figura 17 - New Karolinska Hospital



Fonte: AGENDA, 2017

A figura 17 ilustra a construção do empreendimento.

Case 3: Sistema de Construção Moladi: O Projeto do Tribunal Na Tanzânia

O projeto desenvolvido na Tanzânia era atualizar sua infraestrutura social e fornecer habitação para aqueles na base da pirâmide de renda, porque a qualidade das construções era muito ruim e houve um decréscimo de 3115 tribunais por tal motivo.

Quadro 5 - Informações do Sistema de Construção Moladi

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
Atualizar sua infraestrutura social e fornecer habitação para aqueles na base da pirâmide de renda, concebendo e implementando um sistema escalável, de baixa tecnologia e acessível, dinamizando a economia local.	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso de plástico cofrado que normalmente é descartado. • Geração e desenvolvimento da economia local e pessoal. • O plástico utilizado na cofragem permite grande versatilidade e os trabalhadores são capazes de se adaptar facilmente às necessidades específicas do projeto. • Sistema oferece a solução mais econômica para construção do tribunal. • Utilização de componentes adquiridos localmente, minimizando custos de transporte e logística. • Velocidade de construção, baixo custo, baixo impacto ambiental negativo. • Uso da cofragem possibilita dimensionar a quantidade de material necessário, reduzindo perda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar a solução às condições locais e desenvolver uma oferta de serviços em sintonia com as exigências do mercado. • Criação de protótipos tangíveis para demonstrar a aparência da solução, bem como o potencial da tecnologia. • Trabalhar em estreita colaboração com os reguladores e o governo para obter aprovação e apoio oficial. • Construção de um ecossistema mais amplo, para fazer a solução funcionar. • Novos modelos de negócios. • Pensar de forma abrangente sobre o problema a ser abordados e buscar uma solução abrangente

Fonte: Próprio Autor

O impacto positivo é mais que claro, porque esses edifícios são de alta qualidade e foram construídos em um curto espaço de tempo, gerando baixo custo, baixo impacto ambiental e acabaram contribuindo para o desenvolvimento econômico local. As principais vantagens da construção via esse sistema são a velocidade e facilidade de produção, os custos mais baixos e impacto ambiental reduzido, a qualidade do produto e a localização cadeia de abastecimento que beneficie as comunidades locais.

Figura 18 - The Courthouse depois de pronta



Fonte: AGENDA, 2017

A figura 18 apresenta da construção depois de pronta, que comprovou a possibilidade de novos meios construtivos.

Case 4: Burj Khalifa

O empreendimento, localizado em Dubai - Emirados Árabes Unidos, foi inicialmente imaginado para ter uma altura superior a 449m que é do Taipei 101 em Taiwan. O projeto inicial teve como altura 550m, mas depois com mudanças o projeto final alcançou 828m. Para o projeto foi feita a aplicação de conceitos de pré-fabricação e construção no modelo *lean*, para otimizar o processo construtivo. Abaixo, as figuras 19 e 20 apresentam o empreendimento em estado avançado de construção da fase estrutural.

Figura 19 - Burj Khalifa vista frontal



Fonte: AGENDA, 2017

Figura 20 - Burj Khalifa Vista Superior



Fonte: AGENDA, 2017

Quadro 6 - Informações Burj Khalifa

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
O desafio era de criar um arranha-céu como conceito de uma cidade vertical e ser um dos principais destinos urbanos do mundo, com suas acomodações hoteleiras, apartamentos residenciais privados e outras variedades comerciais, com a ideia de cidade vertical.	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> Inovação em materiais utilizados, desenvolvimento de tecnologia e técnicas para a construção. Aplicação da metodologia BIM fazendo o projeto ser mais enxuto e evitando desperdício de materiais. Gerenciamento dos contratos e inclusão de especificações detalhadas e incentivos de desempenho, agregando penalidades por atrasos. Pré-fabricação e métodos de construção no modelo <i>lean</i> foram explorados para manter as tarefas no local. Construção do canteiro de obra no pavimento da construção para minimizar tempo de deslocamento dos trabalhadores. Criação de tecnologias próprias para atender as necessidades. Ex: bomba de lançar concreto. Junção de tecnologias novas e planejamento otimizado do concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolver e manter uma visão para motivar todos e rejeitar o status quo. Reunir uma equipe experiente e de ponta para impulsionar a inovação. Colaborar estreitamente com os fornecedores para desenvolver, testar e implementar inovações. Envolver as autoridades reguladoras desde o início para acelerar o processo de aprovação.

Fonte: Próprio Autor

Com inovações na construção de materiais, tecnologia e técnicas aplicáveis e a notável velocidade da construção, foi possível graças a um cuidadoso planejamento logístico, com a colaboração efetiva de especialistas e fornecedores, e tecnologia de ponta. Como o painel de janela foi pré-fabricado e embalado, os engenheiros conseguiram aumentar a taxa de instalação em aproximadamente 9 vezes.

Case 5: Água Inglesa (*Anglian Water*) - @One Alliance

A @One Alliance foi desenvolvida analisando o *benchmarking* de modelos de cadeia de suprimentos de diferentes setores (varejo, manufatura etc.), e seis elementos-chave foram identificados como caracterizando esses modelos: alinhamento, incentivos, colaboração, equipas integradas, visibilidade programas e minimização de desperdícios.

Quadro 7 - Informações Água Inglesa

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
O desafio era aprimorar os ativos de infraestrutura, mantendo seus custos de construção e custos de ciclo de vida ao mínimo; garantir a saúde e a segurança nos locais; e minimizar qualquer impacto ambiental nocivo	Fase de Reforma	<ul style="list-style-type: none"> Redução de custo e redução na emissão de CO₂. Análise comparativa na cadeia de suprimentos utilizando modelos de alinhamentos, incentivos, colaboração, integração, programas de visibilidade e minimização de perda. Seleção de colaboradores e definição do objetivo comum para desenvolver o projeto. Desenvolvimento de soluções custo-benefício de forma harmônica e não competitiva como é no mercado tradicional. 	<ul style="list-style-type: none"> Colaborar e compartilhar de melhores práticas dentro da equipe. Adotar uma abordagem de programa e se esforçar para desenvolver produtos padronizados. Adotar o pensamento de otimização contínua.

		<ul style="list-style-type: none"> • Modelos colaborativos com contratos e/ou parceiros através de acordos. • Desenvolvimento de novos produtos para demandas específicas. • Uso de sistema de tratamento biológico para desperdício de água. • Trabalho em conjunto das empresas para desenvolver produtos padronizados e trocar melhores práticas, o que possibilitaria mais economia de custos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar modelos de compras que promovam colaboração. • Aproveitar as tecnologias digitais em todo o ciclo de vida do produto. • Promover a mudança cultural para abraçar uma nova mentalidade de melhoria contínua e baseada em entrega de produtos.
--	--	--	--

Fonte: Próprio Autor

O impacto gerado foi extremamente positivo, alcançando a redução de custos, a diminuição na emissão de carbono (que é bastante prejudicial e intensifica o efeito estufa), e a prevenção de acidentes, além de continuar gerando valor ao cliente. Todos os fatores foram analisados com base nos parâmetros de eficiência, sustentabilidade, segurança e saúde.

Case 6: Construção Sustentável - *Broad Sustainable Building (BSB)*

Os projetos de construção hoje são conduzidos de maneira muito semelhante à de várias décadas atrás: a massa de trabalho ainda é feita no local, com pouca automação e processo otimizado. O novo formato de se pensar em construir traz novas implicações, impactando no tempo implementado, no custo, no impacto ambiental e na qualidade. A construção no formato pré-moldada, é similar a peças de “Lego” onde vão se encaixando à medida que é necessário, fixando as colunas de aço, parafusos e painéis de fechamento.

Figura 21 - Foto do sistema de construção



Fonte: AGENDA, 2017

A figura 21 ilustra os materiais e a construção do edifício sendo operados pelos colaboradores.

Quadro 8 - Informações BSB

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
A ideia principal do projeto foi justamente fazer uma pré-fabricação em local fora de onde a obra será edificada, para conseguir ter mais rapidez e qualidade na construção	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento resulta em redução de 20-40% do custo; • Fabricação em locais controlados aumenta a qualidade dos produtos superior às convencionais. • Aplicação processos da indústria de manufatura e princípios: componentes fabricados, gestão da qualidade estratégica e técnicas de eficiência energética. • Produção em larga escala de pré-fabricados e padronização das placas do piso. • Redução do uso do solo e trajetos para transporte. • Ganho de eficiência energética por conta do modelo de construção. • Refino constante do processo de manufatura e características dos materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar princípios vencedores de líderes da indústria da construção. • Combinar uma plataforma padronizada com fácil customização. • Fornecer treinamento e informações para designers e arquitetos a vencer a sua resistência e a criar multiplicadores. • Desenvolver um produto minimamente viável para mostrar uma abordagem inovadora e, a partir dessa base, continuar fazendo melhorias incrementais.

Fonte: Próprio Autor

Figura 22 - Fábrica de partes pré-moldadas

Fonte: AGENDA, 2017

A ilustração 22 mostra a fábrica onde foram feitas diversas das partes que compõem a parte estrutural e fechamento da construção. É possível entender que essa nova formulação de construir minimiza custos, impacto negativo ao meio ambiente, consegue obter maior qualidade do produto. Para que isso ocorra é necessário fazer com que ideais sejam implementados aos colaboradores assim como padronização de processos.

Case 7: *Uptake*

A *Uptake*, fundada em 2014 em Chicago – EUA, é uma empresa de software de análise preditiva que trabalha com ativos fixos e variáveis, relacionado a algumas indústrias como trilho, mineração, aviação, agricultura, energia e construção. Na construção por exemplo, é possível prever o *downtime* podendo planejar uso de maquinário específico. Seguindo essa

ideia, estão ligados a soluções que abordam a dor específica dos parceiros, permitindo novos modelos de negócios orientados a dados. Os 3 pontos principais são: inserção e integração de dados, análise dos dados e integração do fluxo de trabalho.

Quadro 9 - Informações Uptake

Desafio	Etapa do Ciclo de Vida	Intervenções Circulares	Lições Aprendidas
O desafio é fazer a comparação de dados em tempo real e dados passados para otimizar operação de equipamentos de clientes.	Fase de Projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produtividade de equipamentos e menor custo pelo planejamento mais exato, aumentando efetividade e qualidade. • Criação de uma nova área de negócios. • Análise de dados nas empresas possibilita maior assertividade em quantitativo de material, o que possibilita na minimização de geração de resíduos. • Desenvolvimento de soluções a partir de análise das dores do cliente e seus dados. • Crescimento da eficiência na construção. • A tecnologia consegue refinar diagnósticos e soluções de reparo. • Definição de alertas para falhas iminentes por avaliação da solução de problemas do cliente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formar parcerias com os principais players do setor; • Contar com cientistas de dados de fora do escritório (pessoal do operacional); • Começar sabendo a dor do cliente e desenhar uma possível solução; • Elimine alterações no fluxo de trabalho para reduzir a adoção de desafios; • Executar com velocidade para inovar; • Quebrar o pensamento de silo e sistematicamente incorporar lições de outras indústrias

Fonte: Próprio Autor

Além disso, uma vez que a plataforma permite que os fabricantes de equipamentos desenvolvam novas ofertas de serviços, como diagnóstico e reparo refinados soluções, as empresas de E&C agora podem obter maior valor e vida útil mais longa de suas máquinas, graças a prognósticos e manutenção melhorada.

4.3 DIRETRIZES PROJETUAIS PARA CONSTRUÇÃO CIRCULAR

Com base nos artigos encontrados na base Scopus e após análise dos casos do documento do Fórum Econômico Mundial (2017) foi possível mapear uma série de ações circulares aplicáveis nos projetos de construção ao longo do ciclo de vida. Portanto, foi levantada uma série de oportunidades de diretrizes projetuais que poderão serem consideradas em construção circular em diversas fases do projeto. O quadro foi organizado em sete eixos temáticos, sendo eles: (1) ciclo de vida, (2) *stakeholders*, (3) materiais, (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, (5) tecnologia; (6) resíduos e (7) processos e métodos. O quadro 10 apresenta as oportunidades de diretrizes projetuais com foco na construção circular levantadas.

Quadro 10 - Diretrizes Projetuais na Construção Circular

Diretrizes Projetuais para Construção Circular	
Ciclo de Vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nos projetos de construção, considerar a perspectiva completa das fases do ciclo de vida alinhadas inclusive aos objetivos de desenvolvimento sustentável. ▪ Considerar a filosofia do desenvolvimento socioeconômico sustentável e o respeito com o meio ambiente. ▪ Projetar cada fase considerando a pegada de carbono, ou seja, a soma das emissões de gases causada pela construção civil em todo seu ciclo de vida. ▪ Criar um banco de boas práticas para construção sustentável. ▪ Analisar o impacto ambiental da demolição antes de decidir por demolir um prédio. ▪ A partir da tipologia da construção a ser demolida, mensurar o indicativo de aquecimento global gerado.
Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar o interesse de cada parte interessada na respectiva fase de projeto. ▪ Potencializar a integração entre as áreas políticas sobre energia, recursos e EC, e infraestrutura. ▪ Promover incentivos para possíveis investidores. ▪ Envolver poluidores e beneficiadores (que tiveram terras valorizadas), para contribuir financeiramente na criação de um fundo para bancar a limpeza local e futuras manutenções, bem como adotar medidas circulares para preservação da localidade. ▪ Considerar o financiamento público para infraestrutura e biorremediação local. ▪ Analisar de forma comparativa os diversos atores da cadeia de suprimentos através de modelos de alinhamentos, incentivos, colaboração, integração, programas de visibilidade e redução de perdas. ▪ Engajar stakeholders para colaborar em conjunto no processo de desenvolvimentos de produtos padronizados e escolha das melhores práticas.
Materiais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projetar de forma que o tempo para reparos seja o maior possível. ▪ Priorizar o uso de materiais locais e reciclados, visando assegurar o respeito a natureza e minimizar o impacto ambiental negativo. ▪ Ao substituir estruturas antigas, considerar o processo de forma metódico e cuidadoso. ▪ Elaborar um plano de reutilização dos materiais no fim do ciclo de vida. ▪ Listar os tipos de materiais que podem ser reutilizados, recondicionados e reciclados. ▪ Selecionar materiais e soluções de design, considerando a pegada de carbono. ▪ Gerenciar materiais através da rastreabilidade a fim de identificar seu reuso ou não. ▪ Adotar uma infraestrutura modular que seja configurável, que permita estender o seu ciclo de vida, dissociando a vida útil da infraestrutura de seus módulos. ▪ Planejar e entregar uma infraestrutura energética e sustentável, que contribua para reduzir resíduos, a emissões de CO₂, e minimize o uso de matérias-primas. ▪ Instalar vidros nos andares que admitam luz natural abundante. ▪ Considerar a pré-fabricação dos elementos, a fim de diminuir a geração de resíduos, o trabalho de mão de obra e a necessidade de andaimes; ▪ Implantar usina de concreto <i>in loco</i> para evitar viagens de caminhão. ▪ Utilizar componentes encontrados localmente. ▪ Comparar o impacto dos agregados reciclados e dos agregados virgens.
Leis, Normas e Relatórios Técnicos ou Científicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaborar normas e aderir a leis que favoreçam a construção sustentável e circular. ▪ Desenvolver publicações trazendo os conceitos de infraestrutura de energia, modularização e EC juntos. ▪ Implementar políticas destinadas a promover a modularização, pois, poderá facilitar a desmontagem, manutenção, atualização, reutilização e reciclagem. ▪ Aderir a legislações voltadas para a especificação dos resíduos.
Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contratar tecnologias modernas que alinhem o desenvolvimento sustentável e EC. ▪ Interconectar elementos relativos à internet das coisas (<i>IOT -internet of things</i>) integrando os elevadores, o sistema de iluminação e de refrigeração; ▪ Controlar iluminação através de aplicativo no Smartphone.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adotar o modelo BIM (<i>Building Modeling Construction</i>) avançado em todo o ciclo de vida, criando uma única plataforma de dados na qual designers, empreiteiros e, eventualmente, gerentes de instalações poderiam colaborar. ▪ Criar um site do projeto e que contemple as soluções para cada etapa do processo construtivo.
Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analisar os resíduos com objetivo de reduzi-los. ▪ Instalar reciclagem local. ▪ Reutilizar o plástico. ▪ Na gestão de resíduos considerar critérios como: o grau de pré-tratamentos, a dificuldade do pré-tratamento, disponibilidade, quantidade acumulada do material, parâmetro de dispersão e o espectro de aplicação. ▪ Implantar um sistema de tratamento biológico para minimizar o desperdício de água. ▪ Reaproveitar resíduos de demolição na construção. ▪ Estabelecer metas e indicadores de utilização de materiais oriundos da demolição e da construção.
Processos e Métodos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicar pré-fabricação e metodologias no formato <i>Lean</i>. ▪ Padronizar para produzir em larga escala. ▪ Viabilizar processos de melhoria contínua na manufatura. ▪ Adotar a metodologia de multicritérios para os processos decisórios, baseando-se nas especificações dos resíduos e na legislação existente. ▪ Implementar processos circulares: fechamento de ciclo, regeneração ecológica e adaptação. ▪ Utilizar indicadores-chave de performance (<i>KPI's – Key Performance Indicators</i>) na fase de planejamento para reduzir riscos relacionados ao investimento. ▪ Planejar cuidadosamente as rotas de transporte antes da demolição de quaisquer edifícios.

Fonte: próprio Autor

Nota-se que foram levantadas cinquenta e uma oportunidades de diretrizes projetuais com foco na construção circular, sendo seis oportunidades no eixo (1) ciclo de vida, oito oportunidades no eixo (2) *stakeholders*, quatorze oportunidades no eixo (3) materiais, quatro oportunidades no eixo (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, cinco oportunidades no eixo (5) tecnologia, sete oportunidades no eixo (6) resíduos e finalmente sete oportunidades no eixo (7) processos e métodos. Todas as oportunidades poderão ser consideradas ao longo do processo de concepção, considerando o tipo de projeto e as demais variáveis que podem influenciar, como por exemplo acesso a materiais, legislação local, custos, entre outros.

Nota-se que o eixo de materiais permite uma ampla possibilidade de atuação dos projetistas e com diversas oportunidades de articulação junto aos stakeholders. Uma análise criteriosa ao longo do ciclo de vida do projeto contribuirá para o desenvolvimento de um projeto alinhado aos princípios da Economia Circular, em especial para redução dos resíduos, que minimizem as emissões de CO₂, e o uso de matérias-primas.

Conforme o quadro 10, observa-se que são ações passíveis de aplicação em cada etapa de uma construção, reforçando as possibilidades de se construir de forma mais limpa e sustentável, implementar EC e gerar impactos positivos em diversas dimensões como a social, a econômica e a ambiental. Vale considerar que as oportunidades foram levantadas a partir de

um recorte desenvolvido pela análise bibliométrica (base de pesquisa *Scopus*) e de alguns estudos de caso, oriundos do relatório do fórum econômico mundial, portando, outras oportunidades poderão ser identificadas ao ampliar o escopo de pesquisa.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em relação a economia circular na construção civil, Paschoalin Filho (2019) revelou que existe uma distância entre a pesquisa acadêmica e aplicabilidade de EC, o que mostra uma necessidade de começar uma incorporação de conhecimento teórico e aplicá-los na prática, bem como, fomentar as publicações de casos reais.

As publicações identificadas na análise bibliométrica mostraram que os pesquisadores estão adotando diferentes metodologias embasadas em estudo de caso, revisão de literatura, análise de relatórios, *survey* e simulações. Embora as publicações contenham diferentes percursos metodológicos, foi possível identificar as fases do ciclo de vida na construção em que as ações para circularidade foram viabilizadas, bem como, algumas vantagens e lições aprendidas. Adams *et al* (2017), mostrou que as pessoas não têm um nível alto de conscientização para a economia circular com a construção civil. Observou-se nas publicações o envolvimento de diferentes *stakeholders*, o que permite não apenas pensar em ações projetuais em conjunto, mas também, facilitar o processo de aquisição de conhecimento sobre circularidade e suas aplicações ao longo do ciclo do projeto.

Foi observado também na análise bibliométrica que se pode realizar intervenções nas diferentes etapas do ciclo de vida, entretanto, a etapa projetual conta com um amplo *menu* de oportunidades, em especial no que tange a ações voltadas para redução do CO₂. Lemmens (2016) já reforçava que a aplicação da economia circular impacta positivamente na redução das alterações climáticas e prevenção do desperdício. Portanto as lições aprendidas nas publicações são de grande valor para os gestores e projetistas, que poderão ampliar as reflexões acerca do que se pode fazer em cada projeto e em suas diferentes fases do ciclo de vida da construção civil.

A análise de diferentes casos oriundos do relatório publicado pelo Fórum Econômico Mundial em 2017 foi de grande valor para compreender diferentes intervenções aplicáveis em cada uma das fases. Dada a amplitude de possibilidades de ações que poderão contribuir com a circularidade na construção civil, se fez necessário classificá-las em sete eixos temáticos como (1) ciclo de vida, (2) *stakeholders*, (3) materiais, (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, (5) tecnologia; (6) resíduos e (7) processos e métodos. Neste contexto percebeu-se um universo de possibilidades que poderão ser aplicadas na construção civil, sendo que o eixo de materiais se mostrou enquanto grupo estratégico para os projetos. Lemmens (2016) já apontava que a circularidade na construção pode significar reduções de materiais (e custos), gerar a otimização do uso de energia, a reutilização de materiais em diversas etapas, inclusive

na fase de desconstrução. Da mesma forma o Relatório Atualidades do Parlamento Europeu (2022) apontou que a economia circular é um modelo de produção e de consumo que envolve partilha, aluguel, reutilização, reparação, renovação e a reciclagem de materiais e produtos existentes, enquanto possível, sendo assim, materiais se revelam enquanto um eixo estratégico a longo prazo.

Conforme mostrado no referencial teórico, até 2050 cerca de dois terços da população mundial viverão em cidades grandes, e conseqüentemente o número de construção aumentará. Os dados mostraram que o setor de construção atualmente, tem uma participação significativa no consumo de materiais, na geração de resíduos e na emissão de gases no efeito estufa, fatores no qual alocam a economia circular enquanto uma estratégia assertiva para promoção da sustentabilidade e mitigação dos impactos negativos ao meio ambiente. Portanto, Chagas (2022), de acordo com a robustez de cada projeto, as construtoras precisam se tornar mais exigentes na aquisição de materiais e geração de resíduos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA GESTORES E PROJETISTAS

A análise das publicações e dos diferentes cases revelaram importantes lições que merecem uma atenção especial aos gestores e projetistas ao pensar em circularidade. Entre elas pode-se citar:

- Nas atividades de design e engenharia procurar envolver os diferentes *stakeholders*: usuários, equipes multifuncionais, órgãos reguladores, fornecedores, gestores e principais players do mercado, visando gerar inovação, efetividade no processo e transferência de conhecimento.
- Estudar a viabilidade de implantar BIM e de tecnologias digitais em todo ciclo de vida do projeto, realizar *benchmark* com empreendimentos do mesmo setor, valorizar o mercado local e viabilizar modelos de compras que promovam colaboração.
- Desenvolver modelos de negócios circulares, desde a criação de protótipos à valorização de um ecossistema mais amplo.
- Fomentar uma cultura de troca de conhecimentos, que envolva a realização de treinamentos para designers e arquitetos, bem como a formação de multiplicadores, considerando a melhoria contínua e a padronização.
- Por fim, desenvolver estudos que colaborem para o desenvolvimento de um produto circular minimamente viável, inovador e que permita melhorias

incrementais. Os cientistas de dados, poderão exercer um papel importante para gerar conhecimentos que agreguem valor aos projetos de forma estratégica.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo levantar diretrizes projetuais aplicáveis em diferentes estágios do ciclo de vida da construção civil visando a circularidade. Portanto, utilizou-se da análise bibliométrica e da análise de múltiplos cases de empresas do setor de construção civil engajadas na promoção da economia circular.

No referencial teórico foi contextualizado a economia circular e linear, a partir de pesquisas realizadas em artigos, monografias, dissertações, teses e relatórios oriundos das fundações relacionadas a economia circular, ao meio ambiente e desenvolvimento sustentável. Analisou ainda, iniciativas de circularidade no setor de construção civil no Brasil e no mundo, e foi observado que nacionalmente há um desconhecimento sobre a economia circular, apesar de existir práticas que se relacionam com o tema. Conforme a ABRELPE no Brasil conta-se ainda com uma quantidade significativa de resíduos gerados na construção civil. Sob uma perspectiva global, notou-se que no continente europeu e alguns países da África já possuem projetos relevantes acerca do tema.

Para levantar atributos de circularidade em cada fase do ciclo de vida da construção civil adotou-se duas estratégias sendo a primeira análise bibliométrica na plataforma *Scopus* e posteriormente análise de múltiplos cases com base no relatório do fórum econômico mundial. Portanto, na análise bibliométricas selecionou-se seis artigos para serem analisados, onde foram extraídos o objetivo, a metodologia aplicada, os resultados, a fase do ciclo de vida da aplicação da EC, e lições aprendidas no projeto. Observou-se que as publicações adotaram diferentes metodologias, a fase do ciclo de vida com o maior número de iniciativas foi a fase de projetos contando com quinze iniciativas, totalizando as diferentes fases foram levantadas quarenta e seis ações que poderão ser inseridas ao longo de um projeto. As diferentes lições aprendidas identificadas servem de pistas para que gestores e projetistas considerem nos processos de concepção.

Para segunda estratégia relacionada a análise de cases foi adotado como base o relatório *Shaping the future of construction – Inspiring innovatiors redefine the industry*. Um documento desenvolvido pelo fórum econômico mundial de práticas de circularidade. Foram selecionados sete *cases* de construção civil, portanto, foram levantados os desafios de cada projeto, a etapa do ciclo de vida em que a ênfase de circularidade foi aplicada, intervenções circulares implementadas e quais lições os projetos ensinaram. Nesta análise observou-se que os desafios estão relacionados a promoção da sustentabilidade, sob diversas dimensões. Foram

identificadas quarenta e oito intervenções circulares, sendo que a maior parte delas estavam relacionadas a fase de projetos. As diferentes lições aprendidas revelaram a importância do desenvolvimento de tecnologias, o alinhamento de diferentes stakeholders e a necessidade de adaptar as soluções as condições locais.

As ações levantadas em ambas as análises foram categorizadas em sete eixos temáticos (1) ciclo de vida, (2) *stakeholders*, (3) materiais, (4) leis, normas e relatórios técnicos ou científicos, (5) tecnologia; (6) resíduos e (7) processos e métodos, neste quadro levantou-se cinquenta e uma oportunidades de ações para a circularidade, sendo que o eixo de materiais se destacou, contemplando um quantitativo de quatorze oportunidades que poderão ser contempladas ao longo do projeto, com vista a circularidade da construção civil. Finalmente o trabalho propõe algumas recomendações projetuais aos gestores e projetistas do setor construtivo, um conhecimento extraído da análise das diferentes estratégias metodológicas adotadas.

Assim, a pesquisa mostrou o quanto a construção é um setor com alto consumo de materiais, gerador de resíduos e com grande capacidade para emissão de gases no efeito estufa, neste sentido a Economia Circular se mostra enquanto um caminho assertivo a ser considerado ao longo do ciclo de vida da construção civil.

6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Entre as limitações deste trabalho, destaca-se a dificuldade de encontrar empresas localmente que disponibilizem dados e permitam fazer análises dos projetos, ainda que os resultados sejam grande valor aos negócios. Da mesma forma, notou-se o quão desafiante é encontrar estudos nacionais acerca do tema, o que se revela também enquanto uma oportunidade para academia. Por fim o estudo se limitou a uma base de pesquisa, a Scopus e a um relatório de referência como o elaborado pelo Fórum Econômico Mundial.

6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros vale analisar diferentes bases de pesquisa como *Scielo*, *Web of Science*, *Capex* entre outras, visando ampliar o quantitativo de ações de circularidade que podem ser aplicadas nas diferentes fases do projeto. Da mesma forma realizar a análise de um estudo de caso real tomando como base as diferentes diretrizes propostas por este trabalho e avaliar os respectivos impactos. Um estudo comparativo entre ações circulares na construção

civil de diferentes países, seria de grande valor para compreender as tendências e o estado da arte nessas localidades, bem como, analisar as ações de circularidade em diferentes tipos de métodos construtivos e as possibilidades de melhorias com vista a redução das emissões de gases no efeito estufa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama of solid waste in Brazil. Brasil, 2015.

ABELPRE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos Resíduos Sólidos em 2021. Agência Pituri, dezembro de 2021.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2008-2020). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <file:///C:/Users/lucas/Downloads/Panorama-2020-V5-unicas.pdf> Acesso em 24 de ago. de 2022.

ADAMS, Katherine Tebbatt et al. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management**. Thomas Telford Ltd, 2017. p. 15-24.

AGENDA, Industry. Shaping the Future of Construction Inspiring innovators redefine the industry. 2017.

AGGELIKI, K. History of civil engineering. 2011.

ALBALADEJO, Manuel; HENAO, Laura Franco; MIRAZO, Paula. **A Economia Circular: Uma mudança de paradigma para soluções globais**, 2021. Disponível em <https://www.greenindustryplatform.org/pt/blog/circular-economy-paradigm-shift-global-solutions> Acesso em 11 de jun. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. ABNT NBR 10004:2004. Resíduos sólidos – Classificação, 2004.

BARBOZA, Douglas Vieira et al. Aplicação da Economia Circular na Construção Civil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 7, p. e9871102-e9871102, 2019.

BRASIL. Decreto-Lei 239/97 nº de 9 de setembro de 1997.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

ÇETIN, Sultan; DE WOLF, Catherine; BOCKEN, Nancy. Circular digital built environment: An emerging framework. *Sustainability*, v. 13, n. 11, p. 6348, 2021.

CHAGAS, Rafael. **Economia Circular em Foco na Indústria da Construção Civil. 2022** (Graduação – Engenharia de Produção) Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça – Santa Catarina – Brasil. 2022.

CNI, SENAI, 2019. Pesquisa sobre Economia Circular na Indústria Brasileira. Setembro, 2019. Disponível em <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/9/pesquisa-sobre-economia-circular-na-industria-brasileira/> Acesso em 07 de dez. de 2022.

CRITÉRIO. In: **DICIO, Dicionário Online de Português**. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/criterio/>. Acesso em 24 de dezembro de 2022.

DUARTE, Felipe Martins **O uso do plástico na construção civil residencial e seu impacto em obras**, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/235458>. Acesso em: 28 dez. 2022.

ECONOMIA CIRCULAR. Ellen MacArthur Foudation, 2017. Disponível em <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>. Acesso em 15 de agosto de 2022.

ECONOMIA CIRCULAR: definição, importância e benefícios. Atualidade Parlamento Europeu, 2022. Disponível em <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>. Acesso em 15 de agosto de 2022.

ECONOMIA CIRCULAR: oportunidades e desafios para a indústria brasileira / Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, 2018.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Oficina de Textos, 2000.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. 2013.

ENSSLIN, Leonardo et al. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil**, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.

FREITAS, Reinaldo José de et al. Um estudo sobre critérios de avaliação de sucesso na implementação de sistemas ERP. 2013.

FORNER, Talita, Comparativo entre alvenaria de vedação com juntas verticais secas e alvenaria convencional. Bacharel 9Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná 2015.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2022. Plano de Ação da União Europeia para a economia circular.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, n. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, n. 114, p. 11-32, 2016. Jornada Técnica Sobre Economia Circular. Humana Portugal, Palácio Valenças, Sintra. 24 de outubro de 2019.

KOOTER, Elonie et al. Sustainability transition through dynamics of circular construction projects. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12101, 2021.

LEITÃO, Alexandra. Economia Circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. Portuguese. **Journal of Finance, Management and Accounting**, Vol. 1, N. 2, set 2015.

LEMMENS, Carol and LUEBKEMAN, Chris. The Circular Economy in The Built Environmental. **ARUP**, 13 Fitzroy Street London W1T 4BQ, p. 1-93, setembro 2016.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção. **Boletim Técnico da Escola Politécnica – USP**. São Paulo, 2002.

LUZ, Beatriz. (Org.). **Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática**. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.

MÉTODO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/metodo/>. Acesso em 24 de dez. de 2022.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, n. 140, v. 3, p. 369-380, 2017.

OKUBO, Yoshiko. **Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples**. 1997.

OTTOSEN, L. M., JENSEN, L. B., ASTRUP, T., MCALOONE, T. C., RYBERG, M., THUESEN, C., CHRISTIANSEN, S., PEDERSEN, A. J., & ODGAARD, M. H. (2021). IMPLEMENTATION STAGE FOR CIRCULAR ECONOMY IN THE DANISH BUILDING AND CONSTRUCTION SECTOR. **Detrius – Multidisciplinary Journal for Waste Resources & Residues** v. 16 - September 2021, 16, 26–30. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2021.15110> acesso em 22 set. 2022.

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; FRASSON, Sueli Aparecida; DE MELO CONTI, Diego. Economia Circular: estudo de casos múltiplos em usinas de reciclagem no manejo de resíduos da construção civil. **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, n. 49, p. 136-157, 2019.

PEREIRA, Caio. Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil. **Escola Engenharia**, 2018. Disponível em <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/> Acesso em 28 de ago. de 2022.

PRATA, Gustavo. Principais usos de pré-moldado na construção civil. **Constru Summit**, 2022. Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/principais-usos-de-pre-moldados-na-construcao/> Acesso em 28 de ago. de 2022.

PRESTON, F. **A global redesign? Shaping the circular economy**. Energy, environment and resource governance. London: Chatham House, 2012.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of Documentation**, v. 24, n. 4, p. 348-349, 1969.

QUIROGA, Fabiana. **Economia circular do plástico: nossa jornada e desafios**, 2022.

Disponível em: <https://www.braskem.com.br/newsletter-carbon-neutral-detalhe/economia-circular-do-plastico-nossa-jornada-e-desafios>. Acesso em 11 de jun. de 2022.

RESENDE, Rodrigo. **Especialistas debatem na CMA nova lei para economia circular do plástico**, 2022. Disponível em

<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2022/06/08/especialistas-debtem-na-cma-nova-lei-para-economia-circular-do-plastico> Acesso em 11 de jun. de 2022.

REUBEN, N. Okparanma et al. Towards enhancing sustainable reuse of pre-treated drill cuttings for construction purposes by near-infrared analysis: A review. **Journal of Civil Engineering and Construction Technology**, v. 9, n. 3, p. 19-39, 2018.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, n. 17, p. 48-56, 2016.

SILVA, Márcia Regina da; HAYASHI, Carlos Roberto Massao; HAYASHI, Maria Cristina Piumbato Innocentini. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. InCID: **revista de ciência da informação e documentação**, v. 2, n. 1, 2011.

SCOPEL, Danyelle Medeiros. Análise de custo: método convencional x método pré-moldado em salão comercial de pequeno porte.2018. (Graduação – Engenharia Civil) – UNISUAM. Maringá PR. 2018

SERRA, Sheyla Mara Baptista; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

STAKE, R. E. **The art of case study research**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995.

TEIXEIRA, João Pereira; PEREIRA, Margarida; TEIXEIRA, José Afonso. **Economia Circular no Setor da Construção Civil I**. 2019.

VAN DEN DOBBELSTEEN, Andy. 655: Towards closed cycles-New strategy steps inspired by the Cradle to Cradle approach. In: **Proceedings TU 2008–25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin (UCD)**. 2008.

VASQUES, CCPCF; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. São Paulo: Unilins, 2014.

VENTURA, Magda Maria. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

WAUTELET, Thibaut. Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach. **European University for Economics and Management**, v. 10, 2018.

WEETMAN, Catherine. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. Autêntica Business, 2019.

WILSON, David C. Wasteaware Benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste management* 35 (2015) 329-342

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2002.

YUAN, Hongping; SHEN, Liyin. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v. 31, n. 4, p. 670-679, 2011.