



Processo de Produção Circular na Construção Industrializada sob a Perspectiva da Ecoeficiência

Circular Production Process in Industrialized Construction from an Eco-Efficiency Perspective

FERNANDEZ, José Luiz Borja¹; MARCHI, Cristina M. Dacach Fernandez²
 joselbf@hotmail.com¹; cristina.marchi@ucsal.br²

Engenheiro, Mestre em Planejamento Ambiental, Professor da UCSAL¹;
 Administradora, Doutora em Geologia, Professora do PPGTAS da UCSAL, Salvador, Bahia².

Informações do Artigo

Palavras-chave:
 Ecoeficiência
 Gestão resíduos sólidos
 Indústria da construção.

Key words:
 Eco-efficiency
 Solid waste management
 Construction industry.

Resumo:

O crescimento do volume de obras na Indústria da Construção Civil no Brasil, de 2007 até o final do ano de 2014, teve como consequência direta intensa produção de resíduos pós consumo. Esse artigo objetiva propor um fluxo de produção ecoeficiente que vise contribuir para a redução dos impactos ambientais na cadeia produtiva da construção industrializada de concreto, incentivando o desenvolvimento de novos sistemas de gestão ambiental, voltado para o reaproveitamento dos resíduos sólidos como insumos na linha de produção. A proposta apresentada pretende atender diretrizes da agenda 2030 da ONU e estabelecer metas de sustentabilidades dentro de um ciclo de produção eco eficiente. A metodologia aplicada foi a exploratória por meio de levantamento bibliográfico com descritores tais como produção circular e construção industrial de concreto. Neste contexto, foi possível analisar as potencialidades do uso dos resíduos neste tipo de construção civil. Observou-se que a utilização de estruturas pré-fabricadas provoca economia de materiais, minimização de resíduos da construção, controle de qualidade e especialização da mão-de-obra. Conclui que um dos benefícios do uso do concreto pré-moldado está relacionado à produção dos elementos que compõe a estrutura concentrada na fábrica, tendo como consequência a redução de resíduos dentro do canteiro de obra.

Abstract

The growth in the volume of works in the Civil Construction Industry in Brazil, from 2007 to the end of 2014, had as a direct consequence the intense production of post-consumer waste. This article aims to propose an eco-efficient production flow that aims to contribute to the reduction of environmental impacts in the production chain of industrialized concrete construction, encouraging the development of new environmental management systems, aimed at the reuse of solid waste as inputs in the production line. The proposal presented aims to meet the guidelines of the UN 2030 agenda and establish sustainability goals within an eco-efficient production cycle. The methodology applied was exploratory through a bibliographic survey with descriptors such as circular production and industrial concrete construction. In this context, it was possible to analyze

the potential of using waste in this type of civil construction. It was observed that the use of prefabricated structures causes savings in materials, minimization of construction waste, quality control and specialization of labor. It concludes that one of the benefits of using precast concrete is related to the production of the elements that make up the structure concentrated in the factory, resulting in the reduction of waste within the construction site

1. Introdução

A crise ambiental da década de 80, provocada por um modelo de desenvolvimento ambientalmente e socialmente insustentável, onde o crescimento econômico estava dissociado da redução da pobreza e da capacidade de resiliência do planeta, motivou a criação em 1987, da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMED) pela Organização das Nações Unidas (ONU) [2].

A CMED era liderada pela primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que publicou um documento fruto das discussões com os chefes de estado e público em geral chamado “Nosso Futuro Comum” ou “Relatório de Brundtland”, propondo um novo modelo de desenvolvimento sustentável, definido no relatório como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (p.46) [1].

A partir do relatório de Brundtland, vários eventos foram organizados pela ONU definindo objetivos e metas para o alcance do desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza. Apesar dos esforços dos estados membros para o alcance das metas traçadas nos documentos assinados nas conferências da Organização, em 2015, no mundo, 13% da população vivia em extrema pobreza, 800 milhões de pessoas passavam fome e 2,4 bilhões de pessoas não tinham acesso a saneamento básico, segundo dados do 1º Relatório de Acompanhamento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Em setembro de 2015, durante a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, organizada pelas Nações Unidas em Nova York, EUA, os

líderes mundiais assinaram a agenda 2030, a partir dos resultados da RIO +20, com metas e objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS) a serem alcançados nos próximos 15 anos [2]. São metas ambiciosas como: erradicação da pobreza, desenvolvimento dos países pobres e em desenvolvimento, universalização do acesso ao saneamento básico e geração de empregos, dentre outras.

Para o sucesso da agenda 2030, o setor da construção civil é de fundamental importância na criação de infraestrutura resilientes, na promoção da industrialização e na construção de cidades sustentáveis, objetivos da agenda. Como o setor é o maior consumidor de recursos naturais não renováveis e o maior gerador de resíduos sólidos urbanos faz-se necessário a implantação de novas tecnologias no processo produtivo e o manejo ambientalmente adequado dos resíduos ao longo da vida útil do produto, a fim de reduzir os impactos negativos da atividade. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo investigar como vem sendo tratada a reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos do setor da construção civil, no intuito de propor um fluxo de produção ecoeficiente que vise contribuir para a redução dos impactos ambientais na cadeia produtiva da construção industrializada de concreto, incentivando o desenvolvimento de novos sistemas de gestão ambiental, voltado para o reaproveitamento dos resíduos sólidos como insumos na linha de produção.

Este artigo está estruturado em cinco partes. Após esta Introdução, uma breve revisão da literatura é evidenciada segundo perspectivas que tratam o tema da construção civil segundo enfoque da ecoeficiência. Na sequência, a metodologia utilizada é exposta

para a coleta e análise dos dados. Em seguida, são analisados e discutidos os resultados obtidos, ao mesmo tempo em que se apresentam fluxogramas relacionados à cadeia produtiva da construção industrializada de concreto. Finalmente, apresenta-se a conclusão do artigo.

2. Revisão Literatura

2.1. Resíduos da construção civil

A Lei 12.305/2010 distingue resíduos de rejeitos, identificando os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania e conceituando rejeitos como resíduos sólidos,

... depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada". (p.2) [3].

Para efeito da Lei, os resíduos da construção civil - RCC são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos.

De acordo com Pushpamali et al. [4], a construção civil é reconhecida como atividade intensiva no consumo de matérias primas não renováveis, sendo responsável pelo consumo de 50% do que é extraído do solo no mundo, gerando 500 milhões de toneladas/ano de resíduos na União Europeia, contribuindo significativamente para as emissões globais de CO₂. Somente a indústria de cimento participa com 5% da produção global de CO₂.

A Resolução do CONAMA No 307, de 5 de julho de 2002 [30], estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os resíduos sólidos da construção civil após a triagem, devem ser classificados como Classe A, resíduos inertes que podem ser reutilizados e reciclados como agregados; Classe B, resíduos que precisam de processos industriais para a

reciclagem; Classe C, resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias para a reciclagem e, Classe D, resíduos perigosos oriundos do processo de construção.

Segundo pesquisa de Pinto [5], de 54% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos gerados vêm da construção civil. Apesar dos RCC terem baixo risco ambiental, impactando o meio ambiente com intensidade menor que os resíduos orgânicos, devido as suas características químicas e minerais serem semelhantes aos agregados naturais, tendo como principal impacto o volume gerado, alguns problemas ambientais são acarretados pela incapacidade dos municípios brasileiros de gerenciá-los, tais como: poluição visual; inundações; alagamentos; perda de infraestrutura de drenagem por entupimento de galerias e assoreamento de canais; deslizamento de encostas; proliferação de vetores de doenças.

O estudo de Bessa et al [6] apresenta um levantamento do estado da gestão e do gerenciamento dos RCD gerados na cidade de Belo Horizonte, visando compreender a viabilidade do uso dos RCD reciclados como insumo na construção civil. Os autores alertam para a necessária modificação da atual produção da indústria da construção civil e apontam a reutilização e a reciclagem de RCD como eficientes alternativas para a minimização dos impactos gerados pelo acúmulo deste tipo de resíduos no meio ambiente.

É de fundamental importância que a construção civil brasileira passe, como um todo, por revisão no modus operandi para que a lógica do desperdício dos materiais de construção ao longo das obras seja diminuída. Isso é uma visão macro da sustentabilidade do setor, uma vez que a maior parte dos materiais usados (cerâmicas, tijolos, telhas, cimento, cal, etc.) são provenientes de matérias-primas naturais, diretamente, ou foram obtidos pelo processamento destas. (p.3,4) [6].

A necessidade de rever o modelo de desenvolvimento ainda prevalecente é oportuna, já que a idealização e execução de

novos modelos, materiais e sistemas podem promover redução de impactos ambientais e minimização de consumo de recursos naturais.

2.2. Ecoeficiência na construção civil e o processo de produção circular

A partir da Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como RIO 92, várias organizações têm buscado se adequar à ecoeficiência. O conceito de ecoeficiência pode ser definido como a produção de bens e serviços com menor impacto no meio ambiente, que atendam as demandas da sociedade com qualidade, reduzindo, gradativamente, o consumo de matérias primas e energia.

Diante do êxito da aplicação gradual dos oito objetivos do milênio, que reduziu a população abaixo da extrema pobreza em mais de 50%, a agenda 2030 foi assinada por líderes dos estados membros da Organização das Nações Unidas [2], estabelecendo dezessete objetivos relacionados ao desenvolvimento sustentável. Estes Objetivos traçam metas ousadas a serem cumpridas nos próximos 15 anos e são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU [2].

Dentre as metas para 2030 incluem-se algumas relacionadas diretamente aos resíduos sólidos, tais como: o acesso universal a saneamento básico, a promoção da infraestrutura para o desenvolvimento da industrialização inclusiva e sustentável, a redução dos impactos ambientais negativos nas cidades, com especial atenção à gestão de resíduos e o alcance do manejo ambientalmente saudável dos resíduos por toda vida útil do produto [2]. Entretanto, as preocupações da ONU são anteriores à publicação dos ODS.

Du Plessis [7] coordenou a publicação intitulada Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries em parceria com o CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) e a UNEP- IETC (United Nations Environment Programme, International Environmental Technology Centre). Este documento visou fornecer uma agenda e estratégias para pesquisas em desenvolvimento de ações sustentáveis para construção civil nos países em desenvolvimento. O documento datado do início século XXI, dentre outras matérias, procurou oferecer um significado diferente para a prosperidade do setor da construção civil. Apontava que a indústria poderia ser capaz de continuar seus negócios e prosperar sob os princípios do desenvolvimento sustentável, como um processo holístico que objetiva restaurar e manter a harmonia entre os ambientes naturais e os construídos, e criar assentamentos que afirmem a dignidade humana e incentivem a equidade econômica [7].

Seguindo esta proposição, o manejo dos resíduos sólidos da construção e demolição é fundamental na busca por práticas sustentáveis, pois é uma preocupação mundial devido às taxas alarmantes capazes de impactar negativamente os ambientes naturais. Segundo Wentzel [8], essa apreensão se encontra baseada no consumo rápido de recursos naturais, já que o setor ainda se pauta no processo extração-produção-consumo-descarte.

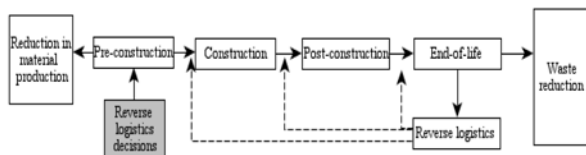
Em 2010, a adoção de práticas sustentáveis dos resíduos sólidos foi um dos objetivos da promulgação da Lei 121.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS [3], observando a regulamentação de diretrizes, instrumentos, metas e ações, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos, definindo as responsabilidades dos atores envolvidos na geração e gestão dos resíduos sólidos no país. A PNRS incorpora conceitos inovadores e sustentáveis com o objetivo de tornar os processos mais eficientes ambientalmente e

socialmente, definindo alguns conceitos importantes, tais como: ciclo de vida do produto; destinação ambientalmente adequada e logística reversa.

Traçando um paralelo aos conceitos supracitados, estabelece-se o conceito relativo ao processo de produção circular, a ser utilizado neste estudo. O processo de produção circular, neste trabalho, se encontra fundamentado no ciclo de vida do produto, na destinação final ambientalmente adequada e na logística reversa. Em última instância, os resíduos gerados em um processo produtivo, retornam como insumo ao seu ciclo ou em outros ciclos produtivos. Este processo busca promover benefícios ambientais por meio da eficiência no uso de recursos. Contrapõe à ideia do processo produtivo linear, baseado na sequência linear de fluxo de produção, que utiliza insumos padronizados.

Para Pushpamali et al. [4] logística reversa na construção civil tem três perspectivas principais: Gerenciamento de resíduos sólidos, pensamento ambiental e perspectivas econômicas e sociais, sendo o gerenciamento dos RS o principal foco na implantação da logística reversa na cadeia produtiva da construção civil. A fim de auxiliar a tomada de decisão na implementação da logística reversa na construção civil, os autores propõem um fluxo com o objetivo de reduzir os impactos ambientais, sociais e econômicos da atividade (Figura 2).

Figura 2 - Estrutura proposta para tomada de decisões em logística



Fonte: Pushpamali et al. [4].

A geração de resíduos é o principal impacto negativo da construção civil no meio ambiente. Materiais de construção produzidos a partir da reciclagem desses resíduos é a forma mais eficiente de reduzir os impactos ambientais, otimizando o uso de energia e diminuindo o consumo de matérias-primas não renováveis. Na Europa a taxa média de reciclagem dos RCC atinge 50%. Na

Dinamarca chega a 89%, motivada pelo alto custo de disposição final e dos agregados naturais [9].

Sem o desenvolvimento de materiais e sistemas de construção sustentáveis para a construção civil, os países em desenvolvimento não alcançarão as metas estabelecidas pela agenda 2030. A ecoeficiência neste setor na América Latina pode ser analisada pela quantidade de recursos, principalmente os naturais consumidos, ou seja, 21% de água potável, 42% de energia elétrica, geração de 25% de CO₂ e produção de 65% de resíduos sólidos urbanos. Estima-se que a adoção de novas tecnologias na construção civil, com sistema construtivo ambientalmente responsável e eficiente no consumo de recursos, reduziria em 50% o consumo de energia, 40% o consumo de água, 39% a emissão de CO₂ e 70% na geração de resíduos sólidos [10].

A criação de infraestrutura para a industrialização, a construção de equipamentos para a melhoria da qualidade de vida das populações de riscos, bem como a construção de equipamentos para a universalização do acesso à energia e ao saneamento básico, a mitigação de impactos ambientais gerados pela industrialização e o crescimento da renda da população, dependem da melhoria nos processos e na introdução de novas tecnologias no setor.

2.3. A construção industrializada de concreto

Brasileiro et al. [11] expressam que devido à grandiosidade da cadeia produtiva da indústria da construção civil

(...) fica claro que não é possível alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a indústria da construção também se torne sustentável. (p.180) [11].

O passivo ambiental, fruto do consumo de recursos naturais, da mudança da paisagem e da geração de resíduos, é um problema mundial. Dessa forma, o conceito de sustentabilidade passa a ser inserido no paradigma da construção civil com o grande desafio de equilibrar as necessidades dos seres humanos com a capacidade de suporte do planeta, sem comprometer as necessidades das futuras gerações.

A mudança no paradigma da indústria da construção civil é requisito essencial para a conservação da biodiversidade, sendo a

construção industrializada de concreto CIC uma alternativa na redução de matérias primas não renováveis, incluindo água e energia e redução na emissão de CO₂.

A produção de pré-moldados em unidades fabris é majoritária, ou seja, apenas 20% da produção é realizada em canteiros de obra [12].

A NBR 9062/2006, que normatiza projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, diferencia pré-moldado de pré-fabricado. O concreto pré-fabricado é um elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade. O concreto pré-moldado é considerado como elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura, com controle de qualidade menos rigoroso que o pré-fabricado. O desenvolvimento aplicado à construção industrializada de concreto introduz novas tecnologias nos processos produtivos de construção de edificações, aumentando a competitividade do setor da construção civil.

Este desenvolvimento pode ser reconhecido nos estudos de Couto e Couto [13], que apontam para inúmeras vantagens com a industrialização do segmento, tais como a produção em unidades industriais especializadas, com maior controle de qualidade; a redução de tempo na execução da estrutura; grandes vãos sem apoio, melhorando a funcionalidade dos espaços, reduzindo o número de pilares e fundação; a redução em fôrmas, escoramentos e andaimes; melhor segurança estrutural e do trabalho; redução no consumo de energia; maior reaproveitamento das fôrmas; possibilidade de reutilização das estruturas; a redução da área de canteiro; a redução da produção de resíduos e ruído no canteiro; e o menor impacto no trânsito local.

De acordo com Ahmad Bari et al [14], os sistemas industrializados de concreto fornecem uma solução eficaz para os problemas de gerenciamento dos resíduos sólidos nos canteiros de obras, com redução de custos a longo prazo e mitigação dos impactos ambientais da construção.

Ainda de acordo com o autor, a construção industrializada em Hong Kong reduziu em 52% a geração de resíduos sólidos, com aumento de produtividade, melhoria na qualidade e redução da mão de obra. Pesquisas dos autores em obras residências apontam para minimização de 10% nos custos e redução em 35% no tempo da obra.

As pesquisas de Nurul et al [15] em usinas de concreto pré-moldado na Malásia, evidenciaram uma geração de resíduos sólidos de 2% a 3% da massa total de concreto produzida, sendo o aço, a madeira e o concreto os principais resíduos gerados.

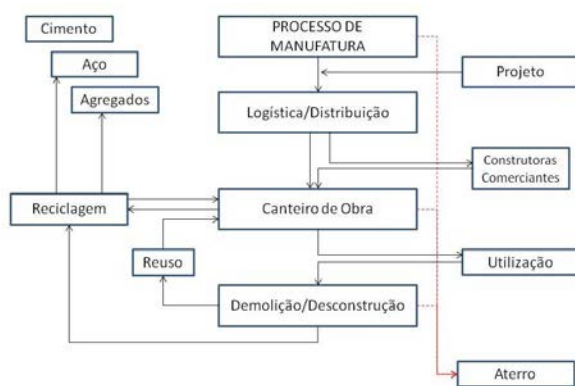
Em maio de 2020, observou-se que o último anuário publicado pela Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC foi em 2013. Esta Associação publicou em 2015 o relatório intitulado “O mercado de agregados do Brasil”, onde anuncia que em 2014 o consumo mundial de aço foi de 1,61 bilhões de toneladas, o de cimento em 4,18 bilhões de toneladas e o de agregados em 45,37 bilhões de toneladas; no Brasil, para o mesmo período, houve um consumo de 27 milhões de toneladas de aço, 70 milhões de cimento e 741 milhões de agregados minerais [16]. A magnitude dos números divulgados pelo anuário de 2015 da ANEPAC representa uma preocupação com os impactos ambientais decorrentes do consumo de matérias-primas não renováveis em forma de agregados e de insumos para a produção de cimento e ferro. Sendo imprescindível a adoção de práticas ambientalmente adequadas no manejo dos materiais e resíduos da produção, para a redução do custo ambiental da construção industrializada de concreto.

O Report da Precast Concrete Resource Efficiency Action Plan – The Green Construction Board, MPA British Precast [17], relata sobre a construção industrializada de concreto no Reino Unido, que possuía no ano de 2011 uma produção aproximada em 20 milhões de toneladas, emitia 2,8 milhões de toneladas de CO₂ com geração de 665.800 toneladas de resíduos, dos quais 90% eram reciclados, sendo relevante a eficiência da utilização de recursos para o setor de pré-

moldado, com foco nas reduções do consumo de matérias primas, incluindo energia e água e na emissão de CO₂.

Com o objetivo de subsidiar os estudos para a melhoria da eficiência na cadeia produtiva da CIC, a MPA Precast [17] traçou um fluxograma com as etapas da cadeia produtiva com as rotas ideais para o fluxo de materiais (Figura 3).

Figura 3 - Representação da cadeia de produção da CIC



Fonte: MPA British Precast [17].

3. Metodologia.

Por se tratar de um tema exploratório, optou-se por realizar pesquisa de natureza aplicada com abordagem qualitativa, a partir da análise de estudos acadêmicos, documentos e dados governamentais e institucionais.

A busca bibliográfica foi desenvolvida por meio de informações em bibliotecas virtuais, no portal da Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e base de dados: Elsevier SciVerse, SciVerse Scopus utilizando-se os seguintes descritores: resíduos sólidos da construção; agregados reciclados; produção circular; construção industrial de concreto e, estruturas pré-fabricadas de concreto armado. Esta busca procedeu-se junto às publicações com data entre 2005 a 2022, nos idiomas Português e Inglês. Produções não disponíveis gratuitamente na íntegra e de forma virtual foram excluídas.

A análise individual dos artigos foi realizada para obter os pontos de pesquisa considerados importantes para o reaproveitamento dos resíduos sólidos como

insumos na linha de produção da construção industrializada de concreto armado.

Para análise das estruturas pré-fabricadas de concreto armado foi utilizada a seguinte classificação: (1) Pré-fabricação em usina: quando o pré-fabricado é produzido em um ambiente próprio, em local fechado, mecanizado e/ou automatizado, utilizando mão de obra especializada; (2) Pré-fabricação no local da obra: quando o material é produzido em ambiente aberto ou em barracões construídos para este objetivo e executado por operários sob as ordens de um expert no assunto, engenheiro ou mestre; (3) Processo de transporte e moldagem: o processo que o pré-fabricado é transportado e industrializado, como: escolha do método de fabricação, insumos utilizados, moldagem do material, localização das lavas de minerais, dentre outros.

A partir dessas informações foi proposto um Fluxograma de Processo Circular da Construção Industrializada pela Aplicação de Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.

4. Resultados e Discussão

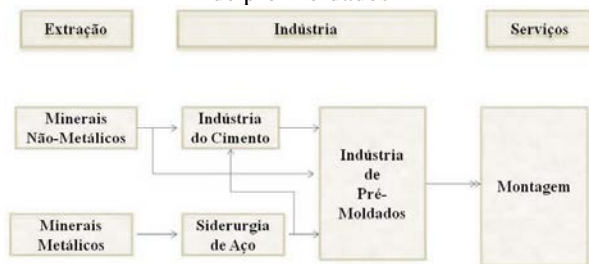
A construção industrializada tem um papel importante na cadeia produtiva da construção civil, voltada para a industrialização dos processos de construção, buscando maior produtividade na execução dos elementos de concreto armado, diminuindo o desperdício de matérias-primas e de tempo.

O estudo de Francisco Otrente et al. [18] esclarece que um dos elementos, a estrutura, deve ser planejado durante a dinâmica de industrialização dos sistemas pré-moldados de concreto. Esse planejamento assegura as condições adequadas para a utilização das estruturas, além de identificar possíveis falhas, que possam comprometer a segurança e a funcionalidade na sua aplicação. Segue alertando que o atendimento às normas técnicas deve ser considerado no decurso do planejamento e da produção de estruturas, ou seja, na “etapa transitória do elemento pré-

moldado”, que são as fases de desmoldagem, de armazenamento, de transporte e de montagem.

Na base da cadeia produtiva desse tipo de indústria está a mineração, fornecendo agregados, como areia e brita, e minérios para as indústrias de cimento e siderúrgicas, matérias-primas não renováveis, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da cadeia produtiva da indústria de pré-moldados



Fonte: Elaborado pelos autores

Os impactos ambientais da mineração segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA [19] são divididos em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios e rejeitos. Os minerais de emprego direto na construção civil (areia, brita e argila), por sua elevada participação nas obras de interesse social, habitação, saneamento e transporte, são considerados bens minerais de uso social e são responsáveis pela maior extensão dos impactos ambientais provocados pela mineração no Brasil.

As lavras de materiais para a construção civil são numerosas e de pequeno porte, instaladas, por questões mercadológicas, próximas aos centros urbanos, operando sem controle ambiental, muitas na clandestinidade [20]. A extração de areia em leito de rios, área de várzeas, margens de curso d’água e lagos, bem como a extração de rochas no alto dos morros ou encostas íngremes, atingindo nascentes, obstruindo cursos d’água e suprimindo a vegetação nativa, são comuns nas áreas de exploração [21].

Na segunda etapa da cadeia produtiva da construção industrializada de concreto encontram-se as indústrias de transformação,

cimento e siderúrgica, fornecendo cimento e aço para a produção das estruturas e artefatos de concreto.

São inúmeros os impactos ao meio ambiente provocado pelas indústrias, sendo os mais significativos à geração de rejeitos e o consumo de matérias-primas não renováveis, uma parte das escórias de forno da siderurgia vai para a indústria de cimento amenizando o problema com o descarte de rejeitos.

Couto e Couto [13] chamam a atenção para um grupo de estudo europeu que investiga novas tecnologias aplicadas à construção industrializada, intitulado de Preventative Environmental Protection Approaches – PREPARE. Este programa aponta potenciais benefícios ambientais no uso da construção industrializada, tornando o setor da construção civil mais sustentável e acarretando as reduções de 50% no consumo de água; 50% dos agregados graúdos, e pelo menos 50% no consumo de energia.

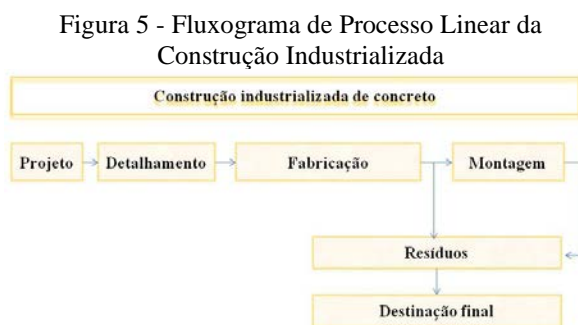
Apesar das vantagens apontadas pelo Programa PREPARE, estudos desenvolvidos por Silva [22], em empresas de construção industrializada na cidade de Chapecó-SC, apontam para perdas em torno de 10% do concreto produzido e 5% do total de materiais utilizados na fabricação das peças. Os principais fatores que geram perdas e resíduos na linha de produção são: revisão de projetos 60% e falhas na produção 20%.

A publicação da ABCIC [12] informa que avanços tecnológicos e mudanças culturais em segmentos da arquitetura brasileira vêm favorecendo maior utilização de estruturas pré-fabricadas de concreto em projetos de diversos segmentos da construção civil. O documento assinala o valor da economia de tempo causada pela adoção destas estruturas, por meio da declaração da presidente da Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA),

Dependendo da tipologia do projeto e para qual será o seu uso, a aplicação do pré-fabricado torna-se quase inevitável. Se a opção pelo pré-fabricado nascer junto com o projeto, é possível reduzir em até 35% o

tempo de construção em relação às soluções convencionais (p.61) [12].

O uso de novas tecnologias vem contribuindo para a melhoria dos sistemas e processos construtivos, reduzindo os impactos ambientais do setor da construção civil. Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos e mercadológicos da construção industrializada existe ainda ineficiência na linha de produção, que provoca perdas e resíduos em quantidades expressivas e causam impactos com a geração e disposição final dos resíduos sólidos. A Figura 5 apresenta o fluxograma de produção e montagem da construção industrializada de concreto sem a intervenção de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, encaminhando os resíduos provenientes da fabricação e montagem para a destinação final.



Fonte: Elaborado pelos autores

Os resíduos gerados na construção industrializada possuem desempenho adequado às necessidades do mercado. Esta afirmativa é consubstanciada pelo estudo de Martinez-Molina et al. [23], de que propriedades físicas e mecânicas de concretos reciclados possuem resistência e desempenho mecânico adequados. Outro fator positivo que pode incentivar a utilização deste tipo de resíduo é o seu alto potencial de reciclagem, já que o resíduo gerado pela construção industrializada possui menor contato com materiais contaminantes como: material orgânico, solo, tintas e solventes, papel, papelão e gesso.

Os resíduos de classe A podem ser reciclados no próprio pátio da fábrica, gerando agregados de excelente qualidade mecânica por possuir cimento incorporado em seus grãos, podendo retornar a linha de produção

gerando novos produtos, tais como: blocos para pavimento intertravado, meio fio, postes para cerca e tubos em concreto para rede de drenagem, os de classe B podem ser segregados e vendidos para cooperativas [22]. Vários estudos apontam para a viabilidade técnica e econômica da utilização dos agregados reciclados a partir de RCD, alguns estudos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Estudos relacionados à viabilidade técnica e econômica da utilização dos agregados reciclados a partir de RCD

AUTORES	OBJETIVO DA PESQUISA	RESULTADOS
Gomes, Poggiali, e Azevedo [24]	Avaliar o cenário atual de pesquisas sobre o uso de ARC combinados com adições minerais em misturas de concreto.	A pesquisa mostrou que agregados reciclados de RCD podem ser utilizados em altas porcentagens de substituição aos agregados naturais quando combinados com o uso de algum tipo de adição mineral.
Silva; Angulo; Pileggi, e Silva [25]	Analisar o comportamento do concreto seco produzido com agregados de RCD empregando-se método laboratorial de prensagem.	Redução da porosidade do agregado reciclado e a otimização da granulometria da mistura seca (cimento e agregados) foram os parâmetros mais importantes para o incremento de resistência observado.
Evangelista, Costa e Zanta. [26]	Análise das propriedades do concreto produzido com agregados naturais e reciclados.	A utilização de agregados reciclados em proporções dosadas pode melhorar as propriedades do concreto, como resistência a compressão e durabilidade.
Salles e Santos [27]	Análise das características	A resistência à compressão com

	físicas e mecânicas de blocos para alvenaria sem função estrutural produzidos com agregado reciclado.	blocos produzidos com agregados reciclados foi 50% superior aos blocos com agregados naturais.
Scott Hood [28]	Análise da viabilidade técnica da utilização de RCD como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação	Viabilidade para a substituição dos agregados naturais por agregados de RCD no teor de 25% na fabricação de blocos de concreto para pavimentação de áreas de pequeno tráfego.
Motta [29]	Análise dos aspectos físicos e mecânicos dos agregados reciclados em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito de vias de baixo volume de tráfego.	Os resultados foram satisfatórios quanto aos aspectos físicos e mecânicos dos agregados reciclados

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando a viabilidade ambiental, técnica e econômica de produção e de uso de produtos fabricados com agregados reciclados, apontada pelos estudos citados no Quadro 3, é necessário destacar que os resultados das pesquisas realizadas no período (2005 a 2019) apontam para a viabilidade ambiental e econômica no uso de agregados reciclados de concreto em obras civis, apesar dos mesmos ostentarem propriedades físicas e mecânicas inferiores, quando comparados aos agregados naturais. Entretanto, a depender da fonte de obtenção, agregados reciclados podem ser utilizados em altas porcentagens em substituição aos naturais, observando as adições minerais necessárias, convertendo o produto final em material sustentável [24].

Outro importante aspecto deve ser o incentivo à implementação de plano de gerenciamento de resíduos sólidos – PGRS nas obras civis, em consonância com a resolução

do CONAMA 307/2002 [30], onde os resíduos após a reciclagem voltam para a linha de produção em forma de insumos, reduzindo os impactos ambientais negativos relacionados ao descarte de rejeitos, consumo de recursos não renováveis e consumo de energia, além de reduzir custos com manejo dos rejeitos, gerando uma nova cadeia de valor com a produção de artefatos de concreto reciclados, melhorando a imagem institucional da empresa, como proposto na Figura 6.

Figura 6 - Processo Circular da Construção Industrializada pela Aplicação de Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos



Fonte: Elaborado pelos autores

Sendo a construção civil o maior consumidor de recursos naturais não renovados e o maior gerador de resíduos sólidos urbanos, implantar um modelo sustentável de produção no setor da construção industrializada de concreto, onde os resíduos sejam reciclados e transformados em insumos para a produção de produtos reciclados com menor custo econômico e ambiental, é um paradigma que deve ser adotado por toda a cadeia produtiva da construção civil, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, garantindo às próximas gerações a mesma condição de desenvolvimento que a geração atual.

5. Considerações Finais

A construção industrializada de concreto é uma das soluções para aprimorar os sistemas construtivos, ajudando o setor da construção civil a enfrentar as atuais exigências de produção, de qualidade, ambiental e

energética, tornando os sistemas mais eficientes ambientalmente e economicamente.

A implantação de um novo modelo de gestão de RCD, onde os resíduos da produção retornem, após a reciclagem, à linha de produção, conforme fluxogramas propostos, pode contribuir para gerar uma nova cadeia de valor para a construção industrializada. A redução de impactos ambientais em toda cadeia é importante para redefinir o setor como indústria sustentável e ecoeficiente, atendendo ao art. 6º, incisos IV e V, da Política Nacional de Resíduos Sólidos [3].

6. Referências

- [1] CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 1991.
- [2] ONU. Organização das Nações Unidas. *17 Objetivos para transformar o Nosso Mundo*. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/> Acesso em 17 jan 2021.
- [3] BRASIL. *Lei n. 12.305 - 02 agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/at_o2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 15 Jan 2021.
- [4] PUSHPAMALI, N.; AGDAS, D.; ROSE, T.M. *A Review of Reverse Logistics: An Upstream Construction Supply Chain Perspective*. Sustainability 2019, 11, 4143
- [5] PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. Tese Doutorado - Escola Politécnica, USP, São Paulo.
- [6] BESSA, Sofia Araújo Lima; GONCALVES MELLO, Tiago Augusto; LOURENCO, Karen Katleen. Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte/MG. *urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba*, v. 11, e20180099, 2019. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692019000100248&lng=en&nrm=iso>. access on 29 Apr. 2021. Epub Sep 09, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180099>.
- [7] DU PLESSIS, C. (ed.) *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries - First Discussion Document*. CIB & UNEP-IETC, South Africa. 2002. Disponível em: https://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/handle/10204/3511/Du%20Plessis_d2_2002.pdf?sequence=1&isAllowed=. Acesso em 29 abr 2023
- [8] WENTZEL, Marina. *Transição para economia verde custará 180 mil empregos no Brasil, mas criará outros 620 mil, afirma OIT*. BBC Brasil, Suíça, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44114414>. Acesso em 31 mar.2022..
- [9] TORRALBA, F. P.; JALALI, S. *Dossier Eco-Eficiência dos Materiais de Construção*. Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção. Portugal, 2010.
- [10] CESANO, D AND RUSSELL, J. *ELLA Policy Brief: Green Building in Latin America. Evidence and Lessons from Latin America (ELLA)*, Practical Action Consulting, Lima Peru. 2013. Disponível em: http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/131106_ENV_TheGreEco_BRIEF1.pdf Acesso em: 10 Nov. 2020
- [11] BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. *Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178-189, abr. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/#> Acesso em 14 jul 2021.

- [12] ABCIC. Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. Anuário ABCIC 2016. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/Publicacoes/Issuu/650>. Acesso em 25 abril de 2021.
- [13] COUTO, M. C; COUTO, J. P. Os benefícios ambientais e a racionalização do efeito de aprendizagem na indústria de pré-fabricado. Congresso construção. Coimbra. Atas [...]. Portugal. 2007.
- [14] AHMAD Bari; YUSUFF, Rosnah; NAPSIIH, Ismail.; JAAPAR, Aini. Industrialised Build Systems (IBS): it's attribute towards enhancing sustainability in construction. Asian Journal of Environment-Behaviour Studie. P109-119. Maio/junho 2018.
- [15] NURUL Ashikin Suhaini et al. *Identification of Construction Waste Generated at Precast Concrete Plants: Case study IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 601 012036. 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/601/1/012036/pdf>. Acesso em 16 ago 2022.
- [16] ANEPAC Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. *O mercado de agregados no Brasil*. 2014. Disponível em <https://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil> cesso em 25 abril de 2020.
- [17] MPA BRITISH PRECAST. *Report da Precast Concrete Resource Efficiency Action Plan - The Green Construction Board*. Reino Unido, 2013. Disponível em: <https://www.britishprecast.org/Sustainability/The-Precast-REAP.aspx> Acesso em 25 de fevereiro de 2021.
- [18] OTRENTE, J. F. et al. *Análise em pilares de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto pré-moldado durante a etapa transitória*. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 2, p. e20220009, 2022.
- [19] IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. GEO BRASIL 2002: *Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil*. Disponível em http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf. Acesso em 10 out 2020.
- [20] MACEDO, A. B. *Dossiê recursos naturais: Recursos minerais não metálicos*. Estudos Avançados. Vol.12. n.33. São Paulo, 1998.
- [21] MECCHI, A. SANCHES, D. L. *Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo*. Estudos Avançados, Vol.24, N.68. USP. São Paulo. 2010.
- [22] SILVA, A. J. *Reciclagem dos resíduos produzidos pela indústria de pré-moldados em concreto na região de Chapecó-SC*. Revista especialize on-line IPOG, 8ª edição, no.9, Vol.01. Goiânia, 2014.
- [23] MARTINEZ-MOLINA, W. et al. *Concreto reciclado: uma revisão*. Rev. ALCONPAT, Mérida, v. 5, n. 3, p. 235-248, dic. 2015. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235&lng=es&nrm=iso. accedido en 23 agosto 2021.
- [24] GOMES, Camila Lacerda; POGGIALI, Flávia Spitale Jacques; AZEVEDO, Rogério Cabral de. *Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica*. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12358, 2019. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200318&lng=en&nrm=iso. access on 02 May 2021. Epub June 10, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0673>.
- [25] SILVA, Raphael Baldusco da et al. *Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade*. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 335-349, Dec. 2015.

- Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212015000400335&lng=en&nrm=iso. access on 02 May 2021. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000400054>.
- [26] EVANGELISTA, P. P. A; COSTA, D. B; ZANTA, V. M. *Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras*. Ambiente Construído. V.10. N.3, P.23-40, Jul/set. Porto Alegre. 2010.
- [27] SALLES, A. T.C; SANTOS, D. G. *Aplicação de agregados reciclados de resíduos da construção em blocos pré-moldados de vedação*. Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos da Construção. Atas [...]. Feira de Santana, Bahia. 2009.
- [28] SCOTT HOOD, R. S. *Análise da viabilidade técnica da utilização dos resíduos da construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- [29] MOTTA, R. S. *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. Dissertação de mestrado em engenharia de transporte, Escola Politécnica, USP. São Paulo. 2005.
- [30] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução 307*. de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 12 mai. de 2019