XII SIBRAGEC
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO
MACEIÓ - AL

PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM ELEMENTOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO [1]

SARTI JUNIOR, Luiz Antonio (1); BAZÍLIO, Luís Fernando Borzi (2); SERRA, Sheyla Mara Baptista (3)

(1) Universidade Federal de São Carlos, luiz.sarti.junior@gmail.com (2) Universidade Federal de São Carlos, luizbazílio@hotmail.com (3) Universidade Federal de São Carlos, sheylabs@ufscar.br

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente e as consequências de sua extensiva exploração motivou o desenvolvimento de pesquisas que visem identificar soluções mais sustentáveis. Como ocorre com os demais sistemas construtivos, o pré-fabricado de concreto também gera resíduos. Assim, surge a necessidade de analisar as etapas de produção nas quais pode ocorrer a geração de resíduos e perdas do concreto pré-fabricado. Neste sentido, no presente trabalho realizou-se um estudo de caso em uma empresa fabricante de laje alveolar, com o objetivo de verificar, ao longo dos processos de fabricação, manuseio, armazenamento e transporte, o potencial gerador de resíduos de concreto. As etapas de pesquisa foram revisão bibliográfica, levantamento de dados na fábrica, quantificação das perdas de materiais, análise dos dados e proposição de soluções. Foi identificado que o processo que apresentou maior volume de perdas é tido como essencial para atender a qualidade da produção dos elementos pré-moldados, que é a regularização e corte das extremidades das lajes. Para reduzir as perdas observadas, as soluções indicadas dizem respeito a substituição dos equipamentos de fabricação e a busca de métodos e boas práticas para promover a reciclagem dos resíduos de concreto.

Palavras chave: *Resíduos, Concreto, Pré-fabricado, Pré-moldado, Construção civil.*

ABSTRACT

The concern with the environment and the consequences of its extensive exploration motivated the development of researches aimed at identifying more sustainable solutions. As with other construction systems, precast concrete also generates waste. Thus, there is a need to analyze the stages of production in which the generation of waste and losses of precast concrete can occur. In this sense, in the present work, a case study was carried out in a hollow core slab manufacturing company to verify, along with the manufacturing, handling, storage, and transport processes, the potential generator of concrete residues. The research steps were literature review, data collection at the factory, identification of material losses, data analysis, and solutions. It was identified that the process that presented the highest volume of losses is considered essential to meet the quality of the production of precast elements, which is the regularization and cutting off the ends of the slabs. The solutions indicated concern the replacement of manufacturing equipment and the search for methods and best practices to promote the recycling of concrete waste to reduce observed losses.

Keywords: *Waste, Concrete, Prefab, Precast, Industry construction.*

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e as graves consequências do efeito da sua intensa exploração têm motivado o estudo e desenvolvimento de pesquisas e de novas tecnologias com o objetivo de minimizar os efeitos causados no planeta. A indústria da construção civil no Brasil é caracterizada como a atividade que mais consome recursos naturais e

[1] SARTI JUNIOR, L. A.; BAZÍLIO, L. F.B.; SERRA, S. M. B. Produção e geração de resíduos em elementos de concreto pré-fabricado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/497. Acesso em: 2 out. 2021.

produz resíduos, além de apresentar produtividade relativamente baixa e pouco controle na produção (HEDRE, 2010; LINTZ *et al*., 2012).

No Brasil, estima-se que a produção de RCC é superior a 70 milhões de toneladas por ano, representando cerca de 50% da massa total dos resíduos sólidos urbanos produzidos (CONTRERAS *et al*., 2016). Entretanto, somente uma parcela desse volume produzido são reciclados (cerca de 6,14%) e o restante são destinados à aterros inertes ou de forma ilegal são depositados em terrenos baldios e estradas (TAM *et al.*, 2018). Geralmente, os RCC são constituídos por restos de argamassas, tijolo, concreto, cerâmica e metais, os quais, na grande maioria das vezes, são descartados em aterros sanitários devido à ausência de mercado para suas formas recicladas (DURAN *et al.*, 2006).

Para Casagrande (2010), a adoção de sistemas pré-fabricados de elementos de concreto surge como uma oportunidade de redução direta da geração dos resíduos em canteiro de obras e apresenta benefícios quanto à sustentabilidade. Entretanto, ainda existem perdas de materiais durante as fases de fabricação e transporte dos pré-fabricados de concreto que devem ser mais conhecidas para serem corretamente mitigadas (ZEULE e SERRA, 2015). Holton *et al*. (2010) apresentam quatro estudos de caso da indústria de concreto pré-moldado do Reino Unido com foco em soluções para melhoria da sustentabilidade. Para esses autores, existe possibilidade de redução do desperdício por meio da reciclagem ou reutilização das perdas geradas.

Dessa forma, o artigo considera como problema de pesquisa a importância do conhecimento do processo de fabricação de elementos pré-fabricados em concreto e a verificação dos potenciais fatores geradores de perdas de materiais. Por meio de um estudo de caso são apresentadas as etapas de fabricação, manuseio, armazenamento e transporte das lajes alveolares de uma empresa fabricante e suas principais características. Além disso, é apresentada uma estimativa da quantidade e a destinação do resíduo gerado durante a produção estudada.

2 O SISTEMA PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO

O pré-fabricado é um sistema construtivo composto por elementos que vão desde fundações, pilares, vigas, pisos e telhas a grandes painéis, com funções estruturais diferenciadas. Além disso, os mesmos podem apresentar tamanhos, acabamentos, cores e texturas diversificadas. Atualmente, a demanda por edifícios pré-fabricados tem aumentado, principalmente, na área de infraestrutura para empreendimentos públicos, habitação social e transporte (DONIAK, 2020).

Para Wang e Hu (2017), com a pré-fabricação é possível introduz a industrialização na etapa de produção de uma construção, ou seja, um determinado elemento estrutural pode ser produzido, em um local com maior controle tecnológico, fora do local de instalação. De acordo com a norma brasileira NBR 9062 (ABNT, 2017), as peças de concreto produzidas industrialmente são confeccionadas sob rigorosas condições de controle de qualidade e fora do local de utilização definitiva. O processo de produção de elementos pré-fabricados é dividido nas seguintes etapas: projeto, fabricação, manuseio, armazenamento, transporte e controle de qualidade.

Para Chen *et al*. (2016) os métodos de produção usados para fabricação de elementos pré-fabricados estão, progressivamente, se tornando insuficientes para atender às necessidades atuais. Para os autores, a maioria das fábricas de pré-fabricação possuem linhas de produção fixas para produzir elementos estruturais, o que dificulta a concepção de elementos com geometrias variáveis e de acordo com a customização do cliente.

Após a produção dos elementos pré-fabricados, ainda nas fábricas, persistem diferentes desafios a serem superados. Segundo Matt *et al*. (2014), algumas etapas requerem maior atenção para viabilizar um sistema de produção mais sustentável, como a existência de

espaço para o armazenamento dos elementos no local de fabricação, a logística de transporte dos elementos prontos para a obra e o posicionamento correto dos elementos nos locais pré-definidos na obra.

A montagem do sistema estrutural composto por elementos pré-fabricados requer a elaboração de um estudo detalhado e integrado com a fábrica. Para Matt *et al*. (2014), o plano deverá contemplar também as atividades inerentes ao processo de içamento durante todas as etapas, identificando e dimensionando os equipamentos necessários para o transporte e elevação, considerando o peso e as correspondentes dimensões dos elementos. Os elementos deverão ser concebidos prevendo as suas diferentes opções de içamento e etapas de movimentação durante todo o seu processo de produção.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para este trabalho adotou-se o método de pesquisa de estudo de caso, o qual, segundo Yin (2001) apresenta a intenção de se compreender melhor o contexto da solução observada. Ou seja, por meio do estudo de caso é possível realizar uma investigação para se verificar as características significativas dos eventos da vida real. As etapas da pesquisa foram revisão bibliográfica sobre o processo de produção de determinado elemento estrutural estudado, levantamento dos dados na fábrica, identificação das possibilidades de geração de perdas de materiais, análise das informações e proposições das soluções.

A empresa participante da pesquisa possui sede em Atibaia, SP, e está no mercado de pré-fabricados há mais de 40 anos, sendo que nos últimos 7 anos passou a produzir exclusivamente dois diferentes tipos de elementos: lajes alveolares, correspondente a cerca de 95% da produção mensal, e painéis alveolares. O diagnóstico do processo de produção foi realizado com apoio do engenheiro civil responsável pelo processo de fabricação, armazenamento e controle de qualidade na fábrica.

O volume de concreto produzido e utilizado no mês varia em função da quantidade de lajes que serão produzidas. No mês de março de 2021 foi constatado um volume de 2.714,05 m³ de concreto. Foi realizado um levantamento dos volumes de resíduos de concreto obtidos no período de 01 de março de 2021 à 31 de março de 2021. Neste levantamento, foi considerado o estado físico do concreto, fresco ou endurecido, a etapa do processo que gerou a perda e o motivo pelo qual este material se tornou um resíduo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A laje alveolar se caracteriza por possuir uma armadura longitudinal ativa, que engloba totalmente a armadura inferior de tração necessária e por ausência de armadura transversal de cisalhamento, segundo a NBR 14861 (ABNT, 2011). A seção transversal da laje é alveolar com a presença de almas de concreto e alvéolos formando vazios.

4.1 Processo de produção do elemento laje alveolar

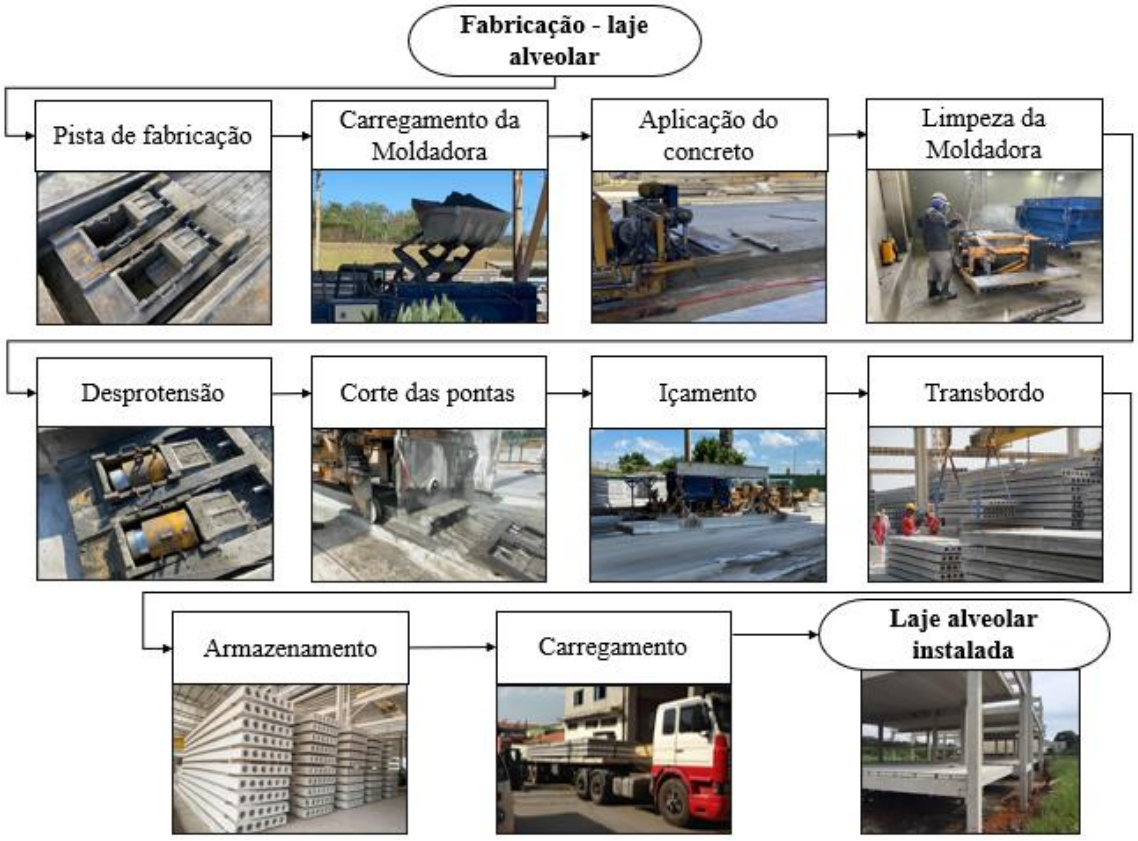
A Figura 1 apresenta um fluxograma com os processos inerentes à produção das lajes alveolares. Para este trabalho, optou-se por manter um enfoque maior aos processos que possuem potencial de geração de resíduos.

4.1.1 Pista de fabricação e principais equipamentos

A fábrica possui três pistas de 1,25m de largura e comprimento de 134m e uma pista de 1,25m de largura e comprimento de 154m. As pistas são do tipo fundo de forma fixos com base em concreto no formato bisotê, com delimitação da largura das lajes e trilhos laterais para posicionamento e deslocamento da máquina moldadora, conforme Figura 2. No processo de preparação das pistas, a limpeza é feita com água e rodo, depois é aplicado desmoldante na pista para que as lajes saiam com acabamento liso e sem porosidade ao serem içadas da pista. As laterais da laje se formam pelas facas da própria máquina

moldadora, que fazem um movimento de vai-e-vem para alisar e dar acabamento nas laterais. O concreto fresco, que é utilizado na produção das lajes, deve apresentar baixo abatimento (*slump*) para que durante moldagem das lajes tanto as mesas superiores como as almas não desmoronem e para que as superfícies tenham um bom acabamento. Também são incorporados aditivos para melhorar a trabalhabilidade do concreto.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do elemento laje alveolar de concreto



Fonte: Autores

4.1.2 Carregamento do silo da moldadora e aplicação do concreto

O equipamento utilizado nesta fábrica para aplicação do concreto na pista de protensão é a moldadora deslizante, que possui um silo acoplado que é abastecido com concreto fresco por meio de pá carregadeira ao longo da pista. Previamente é aplicado no silo uma camada de desmoldante para evitar o acúmulo de concreto fresco e facilitar a limpeza ao final do processo de concretagem.

Durante a aplicação, caso ocorra alguma perda ou sobra de concreto, é possível voltar o material para dentro do reservatório (silo), desde que o mesmo não tenha iniciado o processo de "pega", ou seja, esteja ainda dentro da janela de tempo que o mantém em estado fresco (aproximadamente 20 minutos). Nessa etapa, verificou-se que o volume de resíduo produzido é baixo, quase insignificante, pois dificilmente ocorre a sobra de concreto fresco.

4.1.3 Limpeza da moldadora

Após a aplicação do concreto nas pistas, em um local específico, é realizada uma limpeza geral na máquina moldadora. Para isso, utiliza-se uma máquina de hidrojateamento de alta pressão, na qual é removido os resíduos de concreto que ficaram tanto no interior como no exterior da moldadora (Figura 3). A água oriunda deste processo é encaminhada para uma caixa coletora e semanalmente é realizada a limpeza e retirada do resíduo de concreto endurecido.

Figura 2 – Vista da máquina moldadora.



Figura 3 – Limpeza da máquina moldadora.



Fonte: Autores

4.1.4 Desprotensão

A desprotensão das lajes alveolares é realizada após a cura do concreto que ocorre entre 10 e 12h da produção. Para isso, são retiradas as maletas e inseridos cilindros, aplicando-se óleo para realizar uma pressão no curso do cilindro suficiente para retirar as maletas. O óleo presente no interior dos cilindros, que estão posicionados dentro das maletas, é retirado para desprotender os cabos de aço aderidos ao concreto, que foram previamente tracionados, conferindo protensão à laje alveolar.

Sobre esta etapa, foi relatado que caso a desprotensão seja realizada antes do concreto atingir a resistência de 28 MPa, normalmente ocorre a abertura da laje alveolar também conhecida como “boca de jacaré”. Desta forma, observa-se que é fundamental realizar o controle tecnológico na produção de cada elemento, pois caso ocorra tal situação toda a matéria prima (concreto e cabo de aço) poderá se tornar resíduo. O engenheiro informou que a fábrica tem utilizado um procedimento padrão para verificar a resistência do concreto antes de liberar a desprotensão dos cabos com o intuito de minimizar o volume de resíduos de concreto.

4.1.5 Corte das pontas

A empresa visitada possui capacidade de fabricação diária de quatro pistas com comprimentos de 134 e 154 metros, conforme mencionado. Após a desprotensão, nas extremidades dos elementos (cabeceiras) realiza-se um corte de aproximadamente 40 centímetros com o objetivo de regularizar a extremidade da laje. Isso ocorre devido ao fato de que no início da aplicação do concreto, por meio da moldadora, podem ocorrer irregularidades e falhas na moldagem. Assim, é necessário realizar este procedimento para regularizar as pontas e assegurar a integridade estrutural das lajes.

4.1.6 Içamento

Após as lajes estarem curadas e cortadas de acordo com as dimensões de projeto realiza-se o içamento dos elementos para remoção da pista de fabricação e movimentação até o local de armazenamento. Para isso, o Engenheiro informou que é utilizado um sistema de içamento de pórtico rolante com talha e pinça (aparato metálico com garras) para levantar um pouco e fazer o “calçamento” da laje com caibros. Somente posteriormente pode ser realizado o içamento total utilizando cabos de aço posicionados próximos às extremidades. Pode parecer um processo simples, entretanto, o engenheiro afirmou que, se a laje não estiver com o processo de cura totalmente finalizado ou se o concreto não possuir a resistência necessária, a garra pode esmagar o concreto e quebrar um pedaço da laje. Dependendo do tipo e amplitude da quebra é possível fazer ou não o reparo da laje.

4.1.7 Transbordo

O processo de transbordo contempla a movimentação da laje alveolar da pista de produção para o armazenamento e estocagem das lajes, sendo que este processo é análogo e concomitante ao processo de içamento. Neste processo, podem ser ocasionadas avarias

nas peças devido a eventuais impactos mecânicos durante a movimentação se o operador não tomar o devido cuidado. Também, como uma possibilidade mais remota, pode ocorrer dos cabos de aço não estarem posicionados adequadamente para o içamento e haver a queda da laje, tornando-a inservível e gerando resíduos de concreto. Após o transbordo a peça é posicionada no armazenamento. Para a expedição a movimentação da laje alveolar ocorre com içamento do pátio de armazenamento para o carregamento no caminhão que irá transportá-la até o local de montagem.

4.1.8 Armazenamento

O armazenamento das lajes alveolares produzidas nessa fábrica é realizado em um galpão coberto e aberto nas laterais. Para tal, as lajes são dispostas sobre caibros de madeiras evitando o contato direto com o piso. Para otimizar o espaço disponível realiza-se o empilhamento de elementos até o máximo de 11 peças para lajes com altura H15, até 9 lajes com altura H20, até 7 lajes com altura H26 e até 6 lajes com altura H30. Segundo o engenheiro, o armazenamento possui baixo potencial de geração de resíduos de concreto, pois neste processo as lajes ficam armazenadas em segurança.

4.1.9 Carregamento

Antes da etapa de carregamento das lajes nas carretas para a realização do transporte externo, as mesmas passam por inspeção final de controle de qualidade. O transporte externo é realizado por meio de veículos de terceiros contratados. O engenheiro ressalta que o caminhão que irá transportar os elementos deve possuir assoalho uniforme para receber as lajes com calços de madeira e proporcionar condições para fixar cintas de estabilização. No caso de ocorrer avarias durante o transporte entre a fábrica e a obra que possam inutilizar as lajes alveolares, cabe à fábrica produzir e entregar uma nova laje alveolar à obra. Contudo, o descarte da peça avariada é normalmente realizado diretamente na obra, devido a que o transporte sendo terceirizado, muitas vezes a carreta não volta para a fábrica.

4.2 Volume mensal dos resíduos gerados

De posse das informações, relacionou-se as etapas dos processos de fabricação da laje alveolar, apresentadas anteriormente na Figura 1, com o volume estimado de resíduo de concreto produzido pelo período de um mês – março de 2021. No Quadro 1 apresenta-se em porcentagem os resultados de perdas levantadas em cada processo e os respectivos percentuais. O volume de resíduo de concreto neste mês foi de 29,64 m^3 correspondente às peças fabricadas de 2.714,05 m^3.

Quadro 1- Média do volume mensal de resíduos de concreto produzidos na fabricação das lajes

Etapa do processo de fabricação da laje alveolar	Volume de resíduo (m^3)	Perdas (%)
Aplicação do concreto	1,0	3,37
Limpeza da moldadora	1,0	3,37
Desprotensão	1,72	5,80
Corte das pontas	20,79	70,14
Içamento	3,93	13,26
Transbordo	1,2	4,05
Armazenamento interno	0	0
Preparação para o transporte externo	0	0
Total	**29,64**	**100**

Fonte: Autores

Os resíduos gerados dentro da fábrica eram depositados em um local a céu aberto e o descarte final era realizado por uma empresa terceirizada que coletava o resíduo,

destinando-o para um local legalizado e emitindo o Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI).

Com base nos resultados, cujos dados foram obtidos por meio do levantamento do engenheiro responsável pelo controle de qualidade na fábrica, observou-se que ao longo do processo de produção da laje alveolar, o processo com maior potencial de geração de resíduos de concreto é o descarte das pontas das lajes (corte das cabeceiras). Esta etapa correspondeu a 70,14% das perdas inerentes sendo gerada pelo descarte das cabeceiras. O percentual de perdas neste período correspondeu a cerca de 1% do concreto total.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do estudo observou-se que o processo que apresentou maior volume de resíduos (corte das cabeceiras). O mesmo é tido como essencial para a qualidade e acabamento do elemento, pois no início e final da moldagem das pistas ocorre uma falha na moldagem dos alvéolos e mesa superior. O corte ocorre no ponto em que a laje está com a superfície regularizada, com boa moldagem das almas dos alvéolos e acabamento das extremidades. Para que essa perda seja eliminada de uma vez é necessária a substituição dos atuais equipamentos. Tais observações corroboram com os estudos de Chen *et al.* (2016), onde foi verificado que o processo de fabricação de elementos pré-fabricados precisa ser revisto e adaptado, com equipamentos e tecnologia mais modernos. Ou seja, são necessárias melhorias para que a produção e o controle de qualidade das lajes alveolares atendam mais plenamente aos critérios de sustentabilidade.

Outra estratégia seria prever a reciclagem dos resíduos de concreto endurecido gerados para a fabricação de agregados. Neste trabalho, não foi verificado a estrutura de um processo de reciclagem do concreto pré-fabricado, cujo material é classificado pela norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) como Classe A. Pesquisas como as de Pimentel *et al.* (2020) e Frotte *et al*. (2017) demonstraram potencial para a reutilização ou reciclagem do concreto pré-fabricado.

Como limitação deste trabalho pode ser mencionado que o estudo se limitou a apenas um estudo de caso, com um recorte de um período de um mês específico. Recomenda-se a ampliação do estudo para um período mais longo a fim de determinar aspectos que possam embasar a reflexão sobre custo x benefício x soluções apresentadas. Deste modo, o avanço do conhecimento obtido por este trabalho foi a identificação do potencial de geração de resíduos, com a apresentação de soluções para eliminar ou mitigar os impactos ambientais do concreto pré-fabricado.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio à pesquisa e publicação.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

_____ **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 14861:** Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.

CASAGRANDE, F. Paredes duplas: o sistema circular na construção industrializada. **Concreto & Construções**, n.59, p.51-55, 2010. http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_59.pdf

CHEN, J.H.; YANG, L.R.; TAI, H.W. Process reengineering and improvement for building precast production. **Automation in Construction**, v.68, p.249-258, 2016. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.015

CONTRERAS, M.; TEIXEIRA, S.R.; LUCAS, M.C.; LIMA, L.C.N.; CARDOSO, D.S.L.; SILVA, G.A.C.; GREGÓRIO, G.C.; DE SOUZA, A.E.; SANTOS, A. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material. **Construction and Building Material**, v.123, p.594-600, 2016. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044

DONIAK, I.L.O. **Cresce a demanda por pré-fabricados de concreto**, 2020. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/cresce-a-demanda-por-prefabricados-de-concreto/7096>. Acesso em: abril de 2021.

DURAN, X.; LENIHAN, H.; O'REGAN, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling and the case of Ireland. **Resources, Conservation and Recycling**, v.46, i.3, p.302-320, 2006. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.08.003

FROTTE, C.; DI NUBILA, C.S.A.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L.O.S. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Matéria**, v.22, n.2, e11811, 2017. https://doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0143

HEDRE, L.V. Quality of Construction Activity. **Economics**, v.10, n.3, p.183-188, 2010. https://ideas.repec.org/a/pet/annals/v10y2010i3p183-188.html

HOLTON, I.; GLASS, J.; PRICE, A.D.F. Managing for sustainability: findings from four company case studies in the UK precast concrete industry. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.2, p.12-160, 2010. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.016

LINTZ, C.C.; JACINTO, A.E.P.G.A.; PIMENTEL, L.L.; GACHET-BARBOSA, L.A. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.5, n.2, p.166-181, 2012. https://www.scielo.br/j/riem/a/dQWNJzXhYBZQJpMjmzCP3Yq/?lang=pt

MATT, D.T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing processand on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP**, v.17, p. 457-462, 2014. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.058

PIMENTEL, L.L.; RIZZO, G.F.; JACINTHO, A.E.P.G.A.; PUCHARELLI. P.S. Concrete produced with recycled aggregate: a durability analysis for structural use. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.13, n.6, e13613, 2020. https://doi.org/10.1590/s1983-41952020000600013

TAM, V.W.Y.; SOOMRO, M.; EVANGELISTA, A.C.J. A review of recycled aggregate in concrete applications. **Construction and Building Material**, v.172, p.272-292, 2018. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240

WANG, Z.; HU, H. Improved precast production scheduling model considering the whole supply chain. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v.31, n.4, 2017. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000667

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZEULE, L.; SERRA, S.M.B. A sustentabilidade aplicada aos pré-moldados de concreto. **Revista Industrializa**r, v.5, p.33-42, 2015.