UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

DECLARAÇÃO

Guilherme Pinheiro Rocha Reis
Héricles Ariston Barros dos Santos

ESTUDO COMPARATIVO PARA APLICAÇÃO DE PAINÉIS SANDUÍCHE DE CONCRETO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE PADRÃO MÉDIO

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em 13/04/2022 da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 13/04/2022

Banca Examinadora:

1) Prof. Dr. Janes Cleiton Alves de Oliveira - EECA/UFG (presidente)

2) Profa. Dra. Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter - EECA/UFG (examinadora interna)

3) Prof. Msc. Ivo Carrijo Andrade Neto - UAECSA-RG/UFG - (examinador externo)

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Prof. Dr. Janes Cleiton Alves de Oliveira - EECA/UFG (presidente)

Em: 17/04/2022

OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES:

- **Todos os campos do presente documento são de preenchimento obrigatório, sendo os mesmos adequados a quantidade de examinadores;**

- **Após preenchido, o documento deve ser assinado por todos os examinadores e também pelo orientador do referido trabalho.**

Documento assinado eletronicamente por **Janes Cleiton Alves De Oliveira**, **Professor do Magistério Superior**, em 18/04/2022, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **GUILHERME PINHEIRO ROCHA REIS**, **Discente**, em 18/04/2022, às 12:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **HÉRICLES ARISTON BARROS DOS SANTOS**, **Discente**, em 18/04/2022, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2776835** e o código CRC **2E761EC0**.

Referência: Processo nº 23070.014589/2022-19 SEI nº 2776835

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

ESTUDO COMPARATIVO PARA APLICAÇÃO DE PAINÉIS SANDUÍCHE DE CONCRETO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE PADRÃO MÉDIO

Comparative Study for the Application of Concrete Sandwich Panels on Standard Residential Edifications

Guilherme Pinheiro Rocha Reis [1], Héricles Ariston Barros dos Santos [2]

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

PALAVRAS CHAVE:

Pré-fabricado;
Painel Sanduíche;
Concreto Armado;
Poliestireno;
Orçamento;

***KEYWORDS*:**

Pre-fabricated;
Sandwich Panel;
Concrete;
Polystyrene;
Budgeting..

RESUMO: O presente trabalho propõe uma análise do sistema construtivo conhecido por paredes sanduíche, neste caso composto por painéis de argamassa armada com núcleo de Poliestireno Expansível (EPS), em comparação ao sistema construtivo mais comumente utilizado no Brasil, com parede de alvenaria, para a situação específica de aplicação em residências unifamiliar de padrão médio. Por meio de estudo de caso e de avaliação comparada de custos, produtividade, procedimentos, pretende-se apresentar uma proposta de sistema construtivo de maior qualidade, rentabilidade e sustentabilidade que possa ser uma alternativa viável aos sistemas produtivos atuais.

ABSTRACT: *This piece proposes an analysis of the constructive system known as sandwich panels, in this case a mix of reinforced concrete with a nucleus of Expandable Polystyrene (EPS), in comparison with the constructive system most commonly used at this time in Brazil, masonry walls, for the specific situation of unifamilial standard residencies. By means of a case study and the evaluation of costs, productivity, and procedures, it intends to present a constructive system of better quality, profitability and sustainability that could be uses as a viable alternative to current production systems.*

*** Contato com os autores:**

[1] **e-mail: guibrock@gmail.com (G. P. R. Reis)**
Graduando, Engenharia civil, Universidade Federal de Goiás, guibrock@gmail.com (62981662008)
[2] **e-mail: hericles@outlook.com (H. A. B. dos Santos)**
Graduando, Engenharia civil, Universidade Federal de Goiás, hericles@outlook.com

ISSN: 2179-0612
© 2017 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil Brasileira encontra-se em um cenário de crescimento e competitividade. A falta de recursos renováveis, a dificuldade em encontrar mão-de-obra para os trabalhos, a constante racionalização de água em consequência do elevado índice de desperdício implementado pelo setor, têm obrigado construtores e empresas a buscarem novos métodos construtivos mais práticos e produtivos, que facilitem as etapas de obras, reduzam custos e ajudem a aumentar a durabilidade de empreendimentos.

No Brasil, entre sistemas construtivos utilizados, principalmente, em obras residenciais unifamiliares de padrão médio, têm-se a alvenaria convencional, onde a carga atuante é absorvida pela estrutura de laje, vigas e pilares, e transmitida à fundação. Com isso, as paredes não possuem nenhuma função estrutural, servindo somente como fechamento externo e separação de ambiente. As paredes são feitas em blocos cerâmicos, que usam recursos não renováveis para sua construção. Segundo Marx (1994), o processo de produção do setor de construção civil brasileira continua sendo semi-artesanal ou de base artesanal, como na manufatura do início da Revolução Industrial. Isso leva a baixa produtividade com alto índice de desperdício e geração de entulho, além de não ser necessária a utilização de mão de obra qualificada. Sendo assim, é necessário evoluir as técnicas em algumas partes do país, aderindo maneiras mais sustentáveis e rápidas de se construir de forma a obter maior qualidade e economia na obra.

Em busca de proporcionar maior produtividade e reduzir as perdas e a geração de entulhos na construção, as construções em paredes, estruturais ou de vedação, com painéis de argamassa armada com núcleo de Poliestireno Expansível (EPS), também chamadas de paredes sanduíche (Figura 1), consistem em um sistema construtivo que pode proporcionar economia no consumo de materiais, produzir elementos mais leves e com a resistência necessária para absorver os esforços solicitantes da edificação. Esse método é constituído basicamente de painéis internos, formando o núcleo, de material isolante (EPS), armados com telas soldadas, dispostas em cada uma das faces de microconcreto e interligadas por meio de barras soldadas, numa configuração tridimensional, que gera uma boa rigidez.

Algumas características e vantagens são inerentes aos materiais pré-moldados e é necessário elencá-los para futura comparação destas com o sistema em estudo neste artigo. Os produtos são feitos em fábrica, uma forma efetiva de industrializar o setor, uma vez que há a transferência do trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas. A produção em fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados e controle de qualidade.

FIGURA 1: Residência Térrea usando Painel Sanduíche
FONTE: Concrefato – Indústria de Artefatos de Cimento

Conforme Van Acker (2002), a pré-fabricação possui maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade do que construções moldadas no local, por causa do uso altamente potencializado e otimizado dos materiais. Isso é obtido por meio do uso de equipamentos modernos e de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados. Além disso, a garantia da qualidade durante a fabricação se baseia em mão de obra, instalações e equipamentos na fábrica e a matéria prima, processos operacionais e controle de qualidade na execução. O sistema de controle de produção da fábrica consiste em procedimentos, instruções, inspeções regulares, testes e utilização dos resultados dos equipamentos de controle, matéria-prima, insumos, processos de produção e produtos.

Considera-se, também, que a maior parte das atividades na área da construção civil ainda gera impactos desfavoráveis sobre o meio ambiente em termos de consumo de energia, utilização não racional de recursos naturais, poluição, barulho e desperdícios durante a produção. A indústria do pré-moldado apresenta-se como uma alternativa viável aos excessos da produção convencional. Conforme Van Acker (2002), com uso reduzido de até 45% de materiais, redução de até 30% no consumo de energia e diminuição de até 40% no desperdício com demolição, muitas fábricas estão reciclando os resíduos do concreto, tanto o endurecido quanto o fresco e, futuramente, as indústrias de pré-fabricados funcionarão com um sistema de economia circular, onde todo material gasto é processado e utilizado novamente.

Para o contexto deste trabalho, além de análises a respeito do material propriamente, será realizado estudo comparativo de orçamento executivo de um mesmo empreendimento sendo produzido com a aplicação deste método executivo de placas sanduíche (Figura 2) em relação ao uso de sistema convencional para a execução. Segundo Otley (1999), o processo de orçamentação é um instrumento capaz de integrar em um único documento e de forma totalmente coerente, todas as atividades organizacionais. Visa garantir que os objetivos da empresa e, portanto, dos clientes sejam atingidos, pressupondo que a sua atividade ocorra conforme o planejado.

Finalmente, serão abordados temas de suma importância para execução de obras no sistemas pré-moldados e o sistema utilizado na execução da obra em estudo. O sistema estrutural em tilt-up consiste em painéis verticais de concreto pré-moldado que atuam em conjunto com diafragmas horizontais, para dar estabilidade e rigidez à edificação. Outro importante assunto é o Plano de Rigging, que tem a finalidade de planejar e simular a operação de movimentação por meio do estudo da carga a ser içada, equipamento e acessórios a serem utilizados, e condições de solo que podem influenciar na operação a ser realizada.

Desta forma, este estudo tem como objetivo apresentar os principais diferenciais entre os métodos construtivos citados acima em residências unifamiliares de médio padrão, com intuito de analisar se os painéis sanduíche são mais rentáveis para a Construção Civil. Para solucionar este questionamento, será realizada a análise do desempenho de cada sistema, apresentando dados relativos à produtividade e custos de produção, buscando o custo unitário básico por metro quadrado, tendo em vista um estudo de caso.

Figura 2 - Edificação Residencial Utilizando Painél Sanduíche
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Cimento

2. EMBASAMENTO TEÓRICO E OBJETIVOS

Segundo El Debs (2017), "a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão de assim considerá-la é baseada no fato de ela apresentar, de maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade". Buscando por maneiras de qualificar e evoluir a construção civil, busca-se alternativas aos sistemas construtivos convencionais difundidos. Uma das possibilidades é trazer maior industrialização ao processo, através do uso de elementos pré-moldados.

As características do Concreto Pré-Moldado possibilitam benefícios bastante importantes para a construção, tais como: diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de matérias na construção (EL DEBS, 2017).

A utilização dos painéis pré-fabricados deve ser pensada desde o início do projeto a fim de se aproveitar ao máximo o potencial oferecido pelo sistema. Deve-se avaliar o sistema estrutural a ser utilizado, bem como a modulação das peças e as ligações entre os painéis e as estruturas que serão adotadas (SILVA, 2009). O estudo de caso presente neste projeto foge parcialmente deste corolário, uma vez que, apesar de serem placas estruturais, sua execução exercerá papel de vedação.

Para Acker (2002), os painéis em si podem ser do tipo estrutural ou somente de vedação. As fachadas formadas por painel estrutural possuem função dupla, decorativa e estrutural. Elas devem suportar todas as cargas provenientes dos pavimentos e dos painéis superiores. Esse sistema é economicamente viável uma vez que é dispensável o uso de estrutura constituída por pilares e vigas. Além disso, a construção fica protegida internamente desde o início da obra.

Conforme El Debs (2017), "as etapas envolvidas na produção dependem da forma de aplicação do Concreto Pré-Moldado. No caso do pré-moldado de fábrica, a produção envolve as seguintes etapas: execução do elemento, transporte da fábrica à obra, montagem e realização das ligações".

A NBR 16475 (ABNT, 2017) é responsável por estabelecer requisitos e procedimentos que devem ser atendidos no projeto, produção e montagem dos painéis de paredes pré-moldados. Conforme a norma, os painéis são classificados de acordo com a forma de sua seção transversal, sua aplicação, função estrutural ou função de acabamento. Para o sistema sanduíche, a NBR 16475 (ABNT, 2017) informa de painéis sem ligação rígida. Eles são formados pela composição de dois elementos maciços de concreto, preenchidos por material inerte entre eles (Figura 3). Nos cálculos de área, inércia e cobrimento deve-se considerar apenas a seção formada pelo elemento estrutural de concreto maciço, desconsiderando os elementos sem finalidade estrutural.

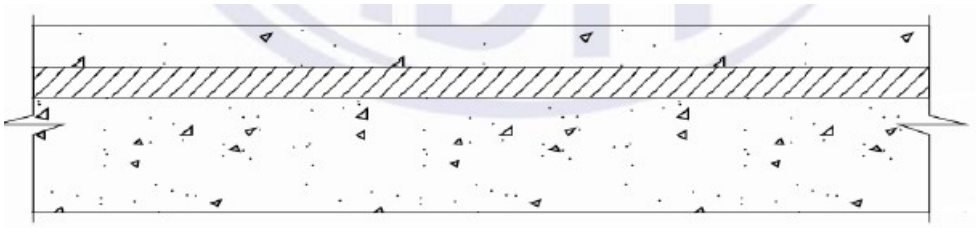

Figura 3 - Seção do Painel Sanduíche
Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017)

Painel sanduíche é uma estrutura composta por duas camadas externas, sendo estas formadas por materiais de elevada densidade e resistência, além de uma camada interna composta por material de baixa densidade e resistência que contribui para a eficiência térmica e redução do peso total do painel (SILVA, 2012). Neste trabalho, os materiais são, respectivamente, concreto auto adensável e poliestireno expandido.

Conforme Brumatti (2008) o processo Tilt-up consiste na técnica de produzir elementos em concreto armado na posição horizontal e, posteriormente, "basculá-los", içando para a posição vertical definitiva. Esse é o sistema executivo utilizado para os painéis pré-fabricados presentes nesse trabalho. Brumatti (2008) ainda identifica os seguintes itens como vantagens do sistema Tilt-Up: rapidez, qualidade,

economia, segurança, versatilidade na confecção das paredes, beleza, durabilidade, conforto acústico e térmico, possibilidade de fácil expansão, menores custos com seguros.

Ainda de acordo com Brumatti (2008), "o processo de fabricação assemelha-se muito ao de execução de um piso de concreto". É montada a base que servirá como forma para a placa e define-se as dimensões conforme projeto, sendo preparada pista de produção, geralmente construídas por pisos de concreto. Sabe-se que a empresa Concrefato, fonte principal para esse trabalho utiliza concretos autoadensáveis de fck 30 MPa, mas maiores especificidades produtivas correm em segredo industrial e não foram disponibilizadas pela empresa.

Além disso, como um dos fatores preponderantes para a escolha deste sistema em específico é a qualidade de Inércia Térmica inerente ao produto. A Inércia Térmica representa a capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor. Conforme Yannas e Maldonado (1995), o fato de armazenar calor dentro da estrutura da edificação, funciona como um dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia e posteriormente dissipando calor. Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação da temperatura externa, radiação solar e ganhos de calor. Quando se considera que os estudos realizados neste trabalho são relativos ao estado de Goiás, em que há uma amplitude térmica significativa durante o dia, é importante que essa característica tenha uma relevância especifica avaliada.

Outro item importante no desenvolvimento deste trabalho é o processo de orçamentação. Caiado (2015), entende o orçamento como "um dos resultados esperados e expressos de maneira quantificada. É a tradução em números de todos os outros tipos de planos." Compreende-se, então, como principal objetivo de um orçamento, a determinação de receitas e acontecimentos necessários para qualquer projeto de construção civil, buscando-se evitar dois itens principais. A sobre-orçamentação, calculando valores tão excessivos que questionem viabilidade da obra ou a suborçamentação, onde se evidenciam preços demasiado baixos, isto é, insuficientes para cobrir os custos da obra.

Ao comparar orçamentos, estes devem estar em acordo com a realidade mais provável, munidos por informações replicáveis, tanto de dados da própria construtora, como dos índices mais comumente utilizados. De acordo com Mattos (2006:22) orçar não é um mero exercício de futurologia pelo que, para se chegar a um orçamento preciso, é necessária a utilização de critérios técnicos bem definidos e informação confiável sobre a obra. Entre itens importantes para a consideração orçamentária relativa a sistemas pré-moldados estão os processos necessários para movimentação de carga.

De acordo com Ghizzo Junior, "o plano de movimentação de carga, ou também conhecido como Plano de Rigging, consiste em planejamento formal da movimentação de cargas utilizando-se de guindastes móveis ou fixos, buscando otimizar os recursos aplicados na operação evitando acidentes e perdas de tempo. Este documento indica por meio de cálculos do estudo da carga a ser içada, dos acessórios, das máquinas, e das condições do solo e vento, as melhores soluções para realizar o içamento e transporte de forma segura e eficiente".

O Plano de Rigging deve ser elaborado antes do início da operação de içamento e transporte do material ou equipamento, seguindo normas vigentes para tal atividade. Este documento deve apresentar diagramas e desenhos relativos à carga que será transportada; programação de embarque; detalhamento do embarque; cronograma; com o propósito de orientar toda a operação, seja ela de armazenagem, fabricação, entre outros. (BELLER, 2008).

Tem-se como objetivo primordial deste projeto, encontrar a resposta a respeito da viabilidade da utilização dos painéis sanduíche de concreto armado com poliestireno expandido, quando comparado à utilização do sistema produtivo convencional. Busca-se comparar valores por metro quadrado, quantitativo de pessoal, qualidades e vantagens do uso do sistema pré-moldado, apontando também suas desvantagens, de forma a orientar o uso ou não de tal método.

3. METODOLOGIA

A realização deste estudo consiste na comparação entre a execução de uma obra residencial unifamiliar de alto padrão, produzida na cidade de Goiânia, Goiás, no início do ano de 2022. No momento da produção deste artigo, a edificação em questão encontra-se em processo de execução, utilizando-se das placas sanduíche como material de vedação. A construção será executada no condomínio fechado de alto padrão Portal do Sol Garden, um dentro de uma série de loteamentos reconhecidos por sua qualidade. Os lotes no condomínio têm entre 400 e 650 m².

O empreendimento em questão possui lote com área total de 450,50m². Nesta área será executada a residência, que possui 322,23m² de área construída, sendo 193,13m² relativos ao pavimento térreo e 129,10m² do pavimento superior. A construção conta com área de lazer com piscina, quatro quartos, sala de estar, sala de jantar, cozinha, escritório e sala multiuso. É importante citar, ainda, que consta pé-direito duplo nos ambientes sala de estar e de jantar. A figura 4 representa a planta arquitetônica da residência em questão.

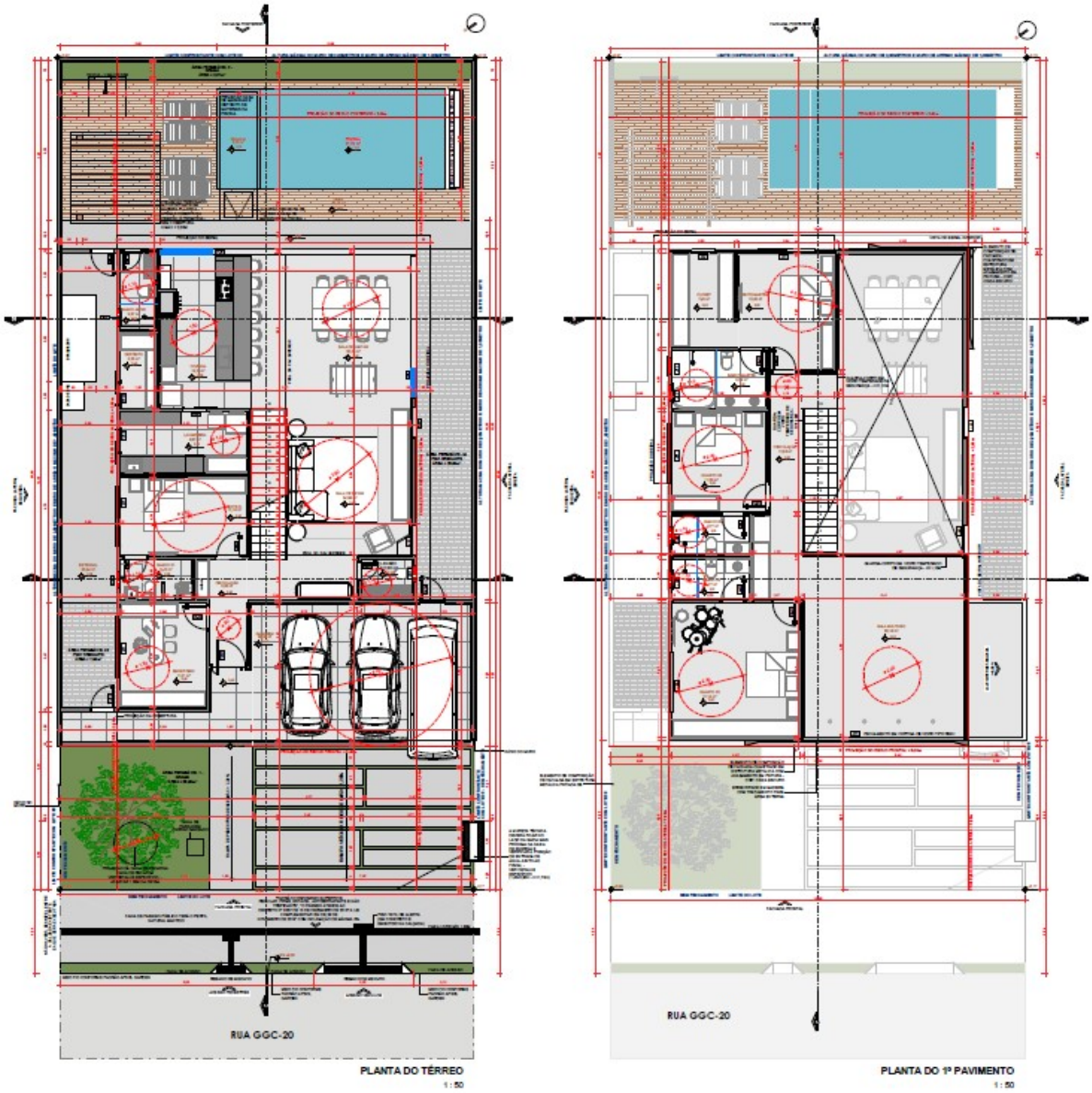

Figura 4 - Planta do Térreo e do 1º Pavimento
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Cimento

Os itens iniciais para execução de projetos nesse sistema não diferem de forma significativa dos serviços preliminares do sistema convencional. É necessário que seja reservada verba para impressão de documentos, taxas específicas de anotações de responsabilidade técnica, estudos iniciais de tempo de trabalho para Engenheiro responsável, mestre de obras. Por ser o mesmo projeto os dois sistemas, convencional e pré-moldado, necessitam de limpeza do terreno, corte e aterro, produção do canteiro de obras, disponibilização de ferramentas e equipamentos de trabalho, equipamentos de proteção individual e retirada dos entulhos. As considerações para despesas gerais, entendendo por despesas gerais o consumo de água e energia elétrica, geração de efluentes, telefone, internet, material de limpeza e higiene, alimentação e vale transporte para a equipe de trabalho, também são as mesmas. No entanto, é importante citar que, pelo sistema pré-moldado causar impacto significativo no tempo de execução da obra como um todo, as considerações unitárias serão as mesmas, em período menor. Dessa forma, há uma redução de gastos, que será apresentada em seção pertinente deste trabalho.

O tipo de fundação de um empreendimento deve ser escolhido, inicialmente, a partir do estudo de solo da região em que se vai construir e as cargas especificadas no projeto. Na região de Goiânia, e comumente pelo país, é adotada para obras deste porte a fundação do tipo sapata e com vigas baldrame. No entanto, para a execução utilizando os painéis sanduíche de concreto e poliestireno, é preferido pela empresa que projeta o sistema a adoção da fundação do tipo radier (Figura 5), que em muitos casos não seria possível em sistemas convencionais. Isso é possibilitado pela carga exercida pelo painel no solo ser inferior àquela exercida pela vedação em alvenaria. Para referência o valor padrão para a massa por metro linear da vedação em alvenaria é de aproximadamente de 700 kg/m, enquanto o painel sanduíche de 500kg/m.

Para alcançar maior agilidade no método construtivo, adota-se as lajes pré-moldadas para a execução dos pisos nesse sistema. Essa opção resulta na redução do quantitativo de mão de obra, das dificuldades geradas pelo processo de escoramento para pavimentos superiores e reduz-se o tempo de obra ao remover parte do caminho crítico da execução no sistema convencional, ao remover a necessidade de esperar pela cura do concreto nas lajes moldadas na locação. Ao mesmo tempo, é importante citar que essa escolha resultará em aporte financeiro inicial significativamente maior do que o padrão, uma vez que as placas sanduíche deverão ser pagas imediatamente ao invés do espaçamento do pagamento por longo período. A produção do piso também passa pela fase de marcação do posterior posicionamento das paredes. É importante, também, que se façam os cortes necessários para a instalação de equipamentos como bacias sanitárias, lavatórios, fazendo-se necessário que o projeto executivo seja seguido à risca.

Figura 5 - Representação do piso para Sistema Pré-moldado
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Cimento

As paredes são compostas por treliças metálicas na horizontal e vertical, posicionados de forma que os cortes necessários para disposição de portas e janelas não afetem o comportamento estrutural do

painel. O sistema é executado de forma que as cargas sejam transferidas estrategicamente das paredes paras as vigas, dando ao sistema possibilidades arquitetônicas diversas.

No canteiro de obras, as placas ficam em baias de aço, facilitando o içamento e descarga, simplificando a logística de instalação das paredes. No processo de instalação, as placas que se tornarão as paredes dos ambientes são içadas e posicionadas no local adequado, de acordo com o projeto. Com as paredes na sua locação final, é fixada escora inclinada com sistema de regulagem, permitindo a aprumação das paredes com velocidade e facilidade. As ligações entre os elementos de parede, estruturais ou não, se dá com o uso de treliças metálicas fixadas no piso em um espaço de 10cm x 10cm entre painéis. Vergalhões laterais em cada painel são soldadas às treliças, o pilarete é fechado com formas de madeira ou metal e o graute é lançado (Figura 6).

Figura 6 - Locação para Execução de Pilaretes
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Concreto

Problema inicialmente observado para a execução utilizando o sistema pré-moldado são as instalações elétricas e hidráulicas da obra. Por serem placas sanduíche de comportamento estrutural previamente planejado, há a dificuldade inerente de cortes não especificados em projeto. O sistema é, no entanto, bem adaptável às passagens de tubulação, uma vez que há facilidade de manipulação através do isopor, utilizando-se de soprador quente para remover o material e embutir as instalações ao EPS. Padroniza-se a altura para passagem de água em 50 cm e para a passagem de tubulação para fiação elétrica a 30cm do forro.

Os revestimentos podem ser incorporados tanto dentro quanto fora do empreendimento. As paredes externas são normalmente revestidas diretamente na indústria com reboco, enquanto as internas não vêm revestidas. Entre as possibilidades para revestimento interno, recomenda-se o uso de reboco ou gesso após a aplicação dos sistemas de água e eletricidade.

Explicita-se aqui a necessidade da entrega dos projetos de paredes de todos os ambientes, uma vez que a aplicação de revestimento mais frágil, como o gesso, não oferecerá suporte para armários, por exemplo, sendo que esse suporte deverá ser o concreto dos painéis. Assim como no sistema convencional, áreas molhadas como banheiros e área de serviço precisam ser impermeabilizadas. A parede já vem preparada para receber caixilhos de portas e janelas, removendo a necessidade de verga e contraverga. Os procedimentos executivos seguintes são idênticos em ambos os sistemas, como pinturas, determinação de cerâmicas, granito, piso, louças, metais, assim como equipamentos externos, piscinas, churrasqueiras, de forma que abordagens específicas em relação a esses itens tornam-se inócuos.

O processo de orçamentação para a produção utilizando-se dos painéis sanduíche misto de concreto armado e isopor exige conhecimentos específicos cujos valores de produção detalhados seguem em regime de segredo industrial por parte da empresa Concrefato Indústria de Artefatos de Cimento. Esses valores são relativos às quantidades de materiais utilizados para produção, traço do concreto, especificidades produtivas internas à indústria.

A construção será executada seguindo as estruturas convencionais, utilizando vigas e pilares de concreto estrutural, enquanto o fechamento será feito em pré-moldado. Apesar de conhecer o método construtivo do pré-moldado, em que os pilares e vigas poderiam ser substituídos pelas paredes estruturais pré-moldadas, a escolha pelo sistema misto se deve as limitações apresentadas pelo método que serão apresentadas na seção relativa aos resultados. A escolha do método de se deu, principalmente, por buscar a redução do tempo de construção, notadamente em 3 meses teóricos com expectativa de reduzir mais na prática, sem reduzir a qualidade e sem alterar o layout da casa.

O método de comparação utilizado teve como base inicial o projeto arquitetônico e o orçamento físico-financeiro. A partir destes, foi produzido novo orçamento, com itens que deveriam ser utilizados em substituição ao pré-moldado, tornando o projeto alinhado com os métodos produtivos artesanais que são comumente e amplamente utilizados nas construções na cidade de Goiânia. Popularmente, utiliza-se de projeto estrutural de concreto armado, com vedações feitas de blocos de alvenaria e, portanto, parede executada manualmente in loco.

Além disso, buscando encontrar um orçamento mais coerente, foi feita a identificação, em cada etapa, dos quais itens que seriam impactados pela alteração.

É importante citar que para alcançar os valores utilizados nos orçamentos, foi utilizado como referência, para as composições, a tabela SINAPI de janeiro de 2022, associado aos levantamentos feitos pelos autores deste trabalho com base no projeto arquitetônico apresentado na figura 01.

Tem-se, ainda, como método de comparação de referência, a tabela de Custo Unitário Básico de Construção (CUB) para o mês de fevereiro de 2022, conforme produzido pelo Sindicato da Indústria da Construção do Estado de Goiás, SINDUSCON e apresentado na figura 7. É importante citar que os valores apresentados nesta tabela, apesar de produzidos por especialistas e possuir selos de qualidade, comumente apresentam-se significativamente menores do que os custos de execução avaliados posteriormente.

Sinduscon-GO
SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS

CUSTOS UNITÁRIOS BÁSICOS DE CONSTRUÇÃO - FEVEREIRO - 2022
NBR 12.721:2006 – CUB 2006

PROJETOS – PADRÃO RESIDENCIAIS

PADRÃO BAIXO		PADRÃO NORMAL		PADRÃO ALTO	
R-1	1.737,27	**R-1**	2.032,09	**R-1**	2.554,14
PP-4	1.591,28	**PP-4**	1.900,87	**R-8**	2.044,28
R-8	1.508,28	**R-8**	1.673,21	**R-16**	2.127,34
PIS	1.168,28	**R-16**	1.608,62		

Figura 7 - Custos Unitários Básicos - Fevereiro 2022

A partir dos orçamentos será feita comparação do custo por metro quadrado de cada empreendimento, de cada etapa da obra e mais uma comparação com relação ao custo de mão de obra e de materiais de cada serviço.

5. RESULTADOS

As placas sanduíche atualmente utilizadas possuem restrições significativas quanto a sua altura e comprimento. Em relação à sua espessura, não há observações específicas a serem realizadas, uma vez que o padrão produtivo é de 3 cm de concreto, 7 cm de EPS e um adicional de cerca de 3 cm, para revestimento interno, mantem as paredes finas e, portanto, com ganho de espaço interno. A maior restrição se dá em relação à altura máxima das placas em 2,70 metros. Considerando-se que esse número ainda não considera o forro, tem-se residências com pé direito próximos aos 2,55 metros. É tendência na atual conjuntura que obras residenciais de padrão médio e alto tenham altura em torno dos 3 metros, sendo então uma desvantagem desse sistema construtivo. Esse valor se dá devido as restrições de logística de transporte das placas da indústria para a obra.

Atualmente, as placas são empilhadas horizontalmente em caminhão Munky, para que ao chegar na obra sejam içadas e dispostas no local desejado, que é o método executivo do sistema tilt-up. A resolução 735 do Conselho Nacional de Trânsito estabelece como largura máxima para transporte especial o valor máximo de 2,60 m, já menor que a altura padrão da placa. Fazem-se necessários estudos para o transporte das placas em posição vertical ou inclinada, de forma que essa restrição de tamanho seja superada, atendendo de forma mais adequada a demanda executiva das obras de Goiânia.

A definição por padrão da utilização da fundação em radier é geralmente adequada quando se considera a forma de transporte de carga na estrutura utilizando os painéis. No entanto, a cidade de Goiânia possui quantidade significativa de loteamentos residenciais de padrão médio e alto. A utilização exclusiva de fundações muito rasas, como é o radier, ocasiona em dificuldades quando se considera que obras muito próximas terão fundações mais profundas, causando nova compactação de solo nos arredores da estrutura. Faz-se necessário, então, readequação do tipo de fundação utilizado considerando a localização em que se deseja executar a obra, fator que não está atualmente sendo considerado.

Outro fator que necessita de melhoria significativa é a junção de placas, sobretudo em um mesmo sentido. Cômodos com mais de 4,70 metros – tamanho máximo em que se executa o painel – apresentarão “dentes” ou terão aumento significativo de revestimento nas paredes, perdendo parte da área final interna do cômodo. Recomenda-se o investimento por parte da empresa executora em fôrmas metálicas, que consigam manter adequadamente o processo de grauteamento, de forma a não ocasionar esse tipo de deformação na junção das paredes. A figura 8 exemplifica a situação aqui citada.

Figura 8 - Junção entre Placas na Parte Interna da Obra
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Cimento

A tabela 1 apresenta os valores resumidos, divididos por fase de execução, produzidos por engenheiro especialista, proprietário da indústria em questão, e utilizados como referência para solicitação de financiamento privado pela Caixa Econômica Federal. Cita-se aqui que a maior parte dos trabalhos não é de responsabilidade da empresa responsável pelas paredes em placas sanduíche, ficando então, por responsabilidade do cliente e outras empresas contratadas. Já a tabela 2 apresenta o custo por metro quadrado, com mão de obra e materiais para o sistema pré-moldado.

Tabela 1 - Tabela Orçamentária resumida utilizando pré-moldado

Sistema Pré-Moldado		
SERVIÇOS PRELIMINARES	88.185,35	10%
INFRAESTRUTURA /FUNDAÇÃO	46.282,22	5%
ESTRUTURA	235.953,53	28%
PAREDES E PAINEIS	62.470,53	7%
COBERTURAS E IMPERMEABILIZAÇÕES	55.058,71	6%
REVESTIMENTOS	111.338,27	13%
PAVIMENTAÇÃO	84.832,15	10%
INSTALAÇÕES	146.234,26	17%
DIVERSOS	21.817,21	3%
Total	852.172,23	100%

Tabela 2 - Valor Mão-de-obra x Materiais para Tabela 01

Área total m²	322
Custo m²	2.646,50
Mão de obra	R$ 263.675,45
Materiais	R$ 617.011,78
Total	852.172,23

A tabela 3 apresenta o orçamento físico-financeiro produzida pelos autores deste trabalho e corroborado por engenheiros civis orçamentistas em atividade na cidade de Goiânia, enquanto que a tabela 4 apresenta o custo por metro quadrado, com mão de obra e materiais para o sistema convencional.

Tabela 3 - Tabela Orçamentária resumida utilizando pré-moldado

Sistema convencional		
SERVIÇOS PRELIMINARES	130.887,19	13%
INFRAESTRUTURA /FUNDAÇÃO	73.500,31	7%
ESTRUTURA	158.333,39	16%
PAREDES E PAINEIS	129.383,45	13%
COBERTURAS E IMPERMEABILIZAÇÕES	55.058,71	6%
REVESTIMENTOS	175.410,87	18%
PAVIMENTAÇÃO	84.832,15	9%
INSTALAÇÕES	163.962,14	17%
DIVERSOS	21.817,21	2%
Total	993.185,42	100%

Tabela 4 - Valor Mão-de-obra x Materiais para Tabela 03

Área total (m²)	322
Custo (m²)	3.084,43
Mão de obra	R$ 361.295,57
Materiais	R$ 631.889,85
Total	993.185,42

Através dos valores encontrados anteriormente ao produzir tabela orçamentária para o sistema convencional e comparando-a com a tabela orçamentária produzida por equipe especializada no sistema de pré-moldado do tipo sanduíche, foi produzida a seguinte tabela (5) comparativa:

Tabela 5 - Tabela Comparativa dos Valores no Sistema Convencional e Pré-Moldado

	Sistema convencional	**Sistema Pré-Moldado**	
SERVIÇOS PRELIMINARES	130.887,19	R$ 88.185,35	42.701,84
INFRAESTRUTURA /FUNDAÇÃO	73.500,31	R$ 46.282,22	27.218,09
ESTRUTURA	158.333,39	R$ 235.953,53	- 77.620,14
PAREDES E PAINEIS	129.383,45	R$ 62.470,53	66.912,93
COBERTURAS E IMPERMEABILIZAÇÕES	55.058,71	R$ 55.058,71	-
REVESTIMENTOS	175.410,87	R$ 111.338,27	64.072,61
PAVIMENTAÇÃO	84.832,15	R$ 84.832,15	-
INSTALAÇÕES	163.962,14	R$ 146.234,26	17.727,88
DIVERSOS	21.817,21	R$ 21.817,21	-
Total	993.185,42	R$ 852.172,23	141.013,20

Com os valores encontrados acima, nota-se alguns itens principais em que se tem diminuição e aumento de valores, ao comparar ambos os sistemas. Nota-se diminuição de valor relativa aos Serviços Preliminares. Essa redução significativa se dá, principalmente, devido à redução de tempo de execução, ocasionada pela utilização do sistema convencional. A diminuição do tempo de obra acarreta na diminuição dos custos de consumo de água, energia, vale transporte, custo mensal para engenheiro e mestre de obras etc.

A utilização do sistema pré-moldado ocasiona pesos menores para a estrutura da obra. Valores fornecidos pela empresa especialista na construção utilizando o sistema mostram valores de aproximadamente 500kg/m linear, enquanto os valores na alvenaria convencional ultrapassam os 700kg/m linear. Isso resulta em reduções nas profundidades da fundação, na necessidade de diâmetros maiores nas estacas, reduzindo os valores da fundação.

Tem-se um aumento significativo nos valores para a estrutura. Isso se dá pela consideração dos painéis sanduíche dentro do item de estruturas, de forma que esses valores serão compensados no item de paredes e painéis.

Nota-se uma redução significativa nos itens relativos à parede, mantendo-se valores devido a aplicação de esquadrias e ferragens. Neste momento, já se indica que os valores de coberturas e impermeabilizações, pavimentação e diversos não serão alterados.

Os valores de revestimento diminuem, uma vez que as placas já tem pelo menos um dos lados revestido com concreto já na produção industrial, item que deverá ser executado quando se considera a execução in loco.

Tabela 6 - Comparação Mão de Obra, Materiais e Custo Unitário

	Sistema convencional	Sistema Pré-Moldado	Diferença
Custo m²	R$ 3.084,43	R$ 2.646,50	R$ 437,93
Mão de obra	R$ 361.295,57	R$ 263.675,45	R$ 97.620,12
Materiais	R$ 631.889,85	R$ 617.011,78	R$ 14.878,08
Total	R$ 993.185,42	R$ 852.172,23	R$ 141.013,20

Com isso, são alcançados os valores apresentados na tabela 6. Desconsiderando valores relativos a Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), tem-se uma redução de aproximadamente R$ 140.000,00. Com isso, tem-se o valor para o custo por metro quadrado comparando o sistema convencional e o pré-moldado. Os valores são R$ 3.084,43 e R$ 2.646,50 respectivamente. Esses valores eram esperados e servem para corroborar a ideia inicial deste estudo, como vantagem financeira dos pré-moldados.

Um dos fatores mais importantes quando se leva em consideração construções em sistemas pré-moldados é o ganho de tempo que se tem. Construções convencionais tem alguns itens de caminho crítico que tomam um tempo significativo. Nesse caso, mantém-se a necessidade de esperar a estrutura de concreto armado alcançar condições de carregamento, no entanto, quando utilizando a capacidade portante do painel sanduíche, esse processo seria ainda mais acelerado.

Como um dos itens mais dispendiosos de tempo, tem-se a produção manual das vedações em alvenaria. Esse processo é, aqui, substituído pela execução das paredes em indústria, reduzindo tempo de execução, quantitativo de mão-de-obra, e aumentando, assim, a qualidade da vedação.

Outro fator de importância é a redução drástica na quantidade de mão de obra necessária. O momento da construção civil, no primeiro semestre de 2022, é um de grande dificuldade de contratar mão-de-obra, associado aos elevados valores das diárias. Valores cada vez mais altos podem ser ditos também a respeito dos insumos necessários para a construção. A utilização do método pré-moldado ocasiona em grande redução de mão-de-obra e melhora significativa na qualidade do material executado. A execução das paredes necessita de equipe com 5 membros, sendo um responsável pela manipulação do caminhão, um coordenador, um preparando os ganchos para içamento e dois auxiliando a locação do painel no piso.

Conforme a empresa responsável pela execução, a execução de uma placa é feita em 20 minutos. Considerando-se as placas padrão tendo 2,70m x 4,00m, tem-se a produção de 10,80 m² de parede a cada 20 minutos ou 32,40m² por hora com uma equipe. A composição padrão do SINAPI para produção de vedação em alvenaria forma equipe de 1 servente e 1 pedreiro produzindo 1,4 m²/h. Três frentes de trabalho ou seis funcionários, então, produzem 4,2m²/h. Tem-se, entre os métodos executivos, que a produção utilizando o sistema pré-moldado é 7,70 vezes mais rápido do que a execução em alvenaria. Isso ainda desconsidera problemas ergonômicos, cansaço dos funcionários, desperdício de material e o consumo de energia para corte da alvenaria.

Em relação ao plano de Rigging, tem-se a situação particular da não realização profissional do plano por parte da empresa. É importante citar, novamente, que a execução do plano de Rigging não é uma obrigação legal para as empresas que fazem serviços de içamento de estruturas. Nas condições atuais, os projetos executados mantêm-se em obras de pequeno ou médio porte, sobretudo quando a altura do projeto é considerada. Por esse motivo, o caminhão Munky tem sido suficiente para as demandas não específicas e a utilização de guindastes mais robustas ou gruas não se faz necessário.

O sistema de içamento atual é o tilt-up, sistema muito utilizado em obras na América do Norte. Após nivelar o piso, os painéis sanduíche são transportados da indústria para a locação final horizontalmente, empilhando uma parede em cima da outra. São afixados ganchos específicos na parte superior da parede e o içamento é realizado. As paredes vão, então, ser locadas, acompanhadas pela equipe na obra, escoradas e aprumadas (Figura 9). Conforme informações passadas pela empresa de execução, a capacidade produtiva é de uma parede a cada 20 minutos.

Figura 9 - Equipe em Execução em Campo
Fonte: Concrefato Indústria de Artefatos de Concreto

O plano de Rigging deverá dizer se o projeto e as condições de obra são as ideais para a execução do trabalho de içamento e disposição das placas. A localização do caminhão, durante a execução dos trabalhos, é de suma importância. Por ter uma grande quantidade de paredes empilhadas (Figura 10 e 11), o caminhão tem um peso muito alto e, se ficar localizado na via, por exemplo, poderá causar danos significativos ao sistema de água, esgoto e drenagem subterrâneo. É importante entender se não há passagem de fiação de alta tensão nos arredores da área onde será executada a obra. Para o caso de elevações em locais com forte incidência de ventos, por exemplo, estudos específicos devem ser feitos para minimizar os riscos à vida.

Figura 10 - Içamento do Painel

Figura 11 - Painel Içado

6. CONCLUSÃO

O sistema pré-moldado apresenta vantagens significativas quando comparado com os sistemas de produção convencionais e aparece com resposta para vários dos problemas mais comuns e recorrentes encontrados no dia a dia de obra. É notável que industrializar o processo de construção civil qualifica e eleva o nível das obras em geral e este trabalho vem identificar em quais pontos e quantificar o quanto.

É possível reduzir significativamente o tempo de execução de obra. Por um lado, é um fator positivo, ao considerar que o uso da edificação será acelerado, os gastos com mão de obra terão tempo reduzido, a obra fica menos sujeita às variações inflacionárias de comodities como cimento, aço e petróleo. Por outro lado, é necessária aplicação de capital de forma imediata. Culturalmente, no Brasil, é costumeiro espaçar os gastos em prazos grandes, tentando pagar parcelar menores em longo espaço de tempo.

A produção também é significativamente mais barata, verificando-se redução de 15% do total por metro quadrado ao comparar o uso do sistema de placas sanduíche com sistema convencional. Esse valor de 15% ainda é aquém do esperado, uma vez que, a obra foi executada tendo sistema estrutural convencional em concreto armado. Espera-se valores ainda mais baixos quando utilizado o sistema de pré-moldados exercendo também papel estrutural.

A execução precisa de quantitativo de pessoal bem reduzido, com capacidade produtiva muita alta, sobretudo quando comparado ao sistema convencional. Comparações mostraram que a eficiência do sistema pré-moldado é 7 vezes maior do que a do sistema padrão, quando comparando itens específicos como execução dos painéis in loco versus execução da alvenaria.

Os grandes fatores de dificuldade apresentados se deram em relação às condições culturais de execução de obra. A produção no Estado de Goiás é muito resistente a opções não convencionais de produção, preferindo, muitas vezes, a alvenaria por comodidade e costume. Espera-se deste trabalho que os fatores apresentados justifiquem a expansão do uso do sistema pré-moldado. Além disso, há dificuldades associadas às restrições do próprio material produzido.

Nota-se também que quando se considera vantagens esperadas para aplicação de painéis do tipo sanduíche, espera-se redução de custos, eficiência energética, qualidade final do produto devido ao padrão de qualidade imposto no processo de fabricação, redução do desperdício de materiais, ambientes de canteiro de obra mais limpos, sendo que todos estes itens podem ser facilmente observados nas imagens do canteiro de obras e também no orçamento realizado. Dessa forma, podemos afirmar consistência prática das qualidades da execução. É importante citar ainda as qualidades de isolamento térmico e proteção contra a umidade proporcionados pelo sistema sanduíche.

Buscava-se encontrar a viabilidade do uso do sistema de painéis sanduíche de concreto e isopor e acredita-se ter alcançado fatores suficientes para justificar seu uso em obras residenciais de médio e alto padrão. Entende-se os fatores que implicam o não uso do material como insuficientes. Recomenda-se como novos temas de pesquisa:

- Avaliação do Uso do Sistema para Edificações Multipavimentos;
- Avaliação orçamentária considerando painel como sistema estrutural;
- Avaliação de conforto termoacústico interno do material;
- Avaliação pós ocupação com os usuários do sistema;
- Aplicação do Plano de Rigging para situação real do sistema;
- Avaliação da qualidade do produto sob ponto de vista da Norma de Desempenho;
- Avaliação de ACV do sistema.

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de Concreto - Procedimento.

_____. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 16475: Painéis de parede de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Campinas: Unicamp/FIB, 2002.

ALBUQUERQUE, A. T.; EL DEBS, M. K. **Levantamento dos sistemas estruturais em concreto pré-moldado para edifícios no Brasil.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 3 e 4 nov. 2005. Anais... São Carlos: Universidade Federal do Ceará, 2005.

BELLEI, I. H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2ª Ed – São Paulo/SP. Editora PINI, 2008.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados moldados: Estudo e viabilidade**. 2008. 54f. Monografia (Especialista em Construção Civil) – Universidade federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

CAIADO, A. C. P. **Fundamentos da Contabilidade Analítica e de Gestão**. 8ª Edição. 2015

JUNIOR, G. **Içamento de Grandes Estruturas por Meio do Plano Rigging.**

MARX, K**. O capital: crítica da economia política**. v. 1. caps. I, X, XI, XII, XIII. São Paulo: Difel, 1994

SILVA, J. **Versáteis, painéis conquistam mercado**. Arco Web, 2009.

SILVA, F. B. D. **Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes**. Techne, 2012.