

Linha editorial:

ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE ALVENARIA CONVENCIONAL E ALVENARIA ESTRUTURAL E O MÉTODO INSULATED CONCRETE FORMS

Maria Emilia Nogueira Gauer¹
Elson Eduardo de Oliveira Paulo²
Rute de Almeida Lara³
Fabricia Cristina Lemos Melo⁴
Ethiane Agnoletto⁵

Resumo: Com o propósito de aprimorar o conforto e o desempenho, esta pesquisa concentra-se na produtividade, na redução de desperdícios e custos, considerando a crescente demanda por novas tecnologias construtivas na indústria da construção civil. Nesse contexto, destaca-se o sistema de Formas Isolantes para Concreto (Insulating Concrete Forms - ICF), caracterizado por uma estrutura que integra fôrmas fabricadas em poliestireno expandido (EPS), as quais, após montagem, são ocupadas com concreto armado. O objetivo deste trabalho é comparar custos, fluxo físico, sustentabilidade e conforto térmico entre o sistema construtivo em ICF e os sistemas de alvenaria convencional e alvenaria estrutural. Os parâmetros técnicos considerados incluem desempenho térmico conforme o método simplificado da NBR 15.575, sustentabilidade a longo prazo com base em pesquisa de Engenharia e ciência, e racionalização dos processos de produção seguindo a filosofia Lean Construction. Na análise orçamentária, foram determinados os custos para a produção de um projeto padrão de casa popular, conforme as diretrizes da CAIXA. O sistema ICF demonstrou os menores índices de transferência térmica

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIFAMA - Guarantã do Norte.

² Possui graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Várzea Grande (2018). E-mail: elsoneduardo.unifama@gmail.com

³ Graduada em Engenharia Civil pela Universidade de Passo Fundo, Brasil(2000).

⁴ Mestra em Ciências Ambientais pela Universidade de Cuiabá, Brasil(2018).

⁵ Mestra em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil(2013).

e maior sustentabilidade a longo prazo. Ademais, exibiu eficiência superior na produção no canteiro de obras, alinhada aos princípios de Lean Construction. No que diz respeito aos custos, a alvenaria estrutural mostrou-se como a opção mais vantajosa, seguida pela alvenaria convencional. Em resposta às necessidades do sistema construtivo brasileiro, buscando minimizar custos com máximos benefícios construtivos, finaliza que a alvenaria estrutural apresenta a melhor relação custo-benefício seguido do Sistema ICF.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Custo-benefício. Sistema ICF.

Abstract: With the aim of enhancing comfort and performance, this research focuses on productivity, waste reduction, and cost considerations, given the increasing demand for new construction technologies in the civil construction industry. In this context, the Insulating Concrete Forms (ICF) system stands out, characterized by a structure that incorporates forms made of expanded polystyrene (EPS), which, after assembly, are filled with reinforced concrete. The objective of this study is to compare costs, physical flow, sustainability, and thermal comfort between the ICF construction system and conventional masonry and structural masonry systems. The technical parameters considered include thermal performance according to the simplified method of NBR 15.575, long-term sustainability based on research from Engineering and Science, and streamlining of production processes following the Lean Construction philosophy. In the budget analysis, costs were determined to produce a standard affordable housing project, following CAIXA guidelines. The ICF system demonstrated the lowest thermal transfer rates and greater long-term sustainability. Furthermore, it exhibited superior efficiency in on-site production, aligned with Lean Construction principles. In terms of costs, structural masonry proved to be the most advantageous option, followed by the conventional masonry system. In response to the needs of the Brazilian construction system, aiming to minimize costs with maximum construction benefits, it was finished that structural masonry presents the best cost-benefit ratio, followed by the ICF system and conventional masonry.

Keywords: Structural masonry. Cost benefit. ICF system.

1. INTRODUÇÃO

A construção brasileira vem buscando possibilidades que podem substituir os tradicionais modos de construção, através de um modo que tenha um processo mais

industrializado, com pouca perda de materiais. O setor da construção vem buscando por mudanças relacionadas a sustentabilidade, porque a construção civil é responsável por nada mais nada menos que um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto habitante por ano, perdendo apenas para consumo de água.

Portanto diante disso, percebe-se que o maior objetivo e desafio da indústria da construção civil é a sustentabilidade de modo eficiente e barato. Para garantir que ainda sim e mantenha um bom desempenho foi criada a NBR 15575 em 2007, que fala de desempenho de edificações habitacionais com o objetivo de garantir conforto, acessibilidade, vida útil e segurança estrutural, as construtoras devem realizar suas construções de acordo com padrões mínimos de qualidade.

Com base no supracitado, há a necessidade de um processo que racionalize o sistema construtivo no Brasil, uma vez que a construção civil é o setor que mais desperdiça matérias primas mundialmente, se tornando com o tempo algo insustentável.

Nesse contexto, tem-se a alvenaria convencional ou de vedação, que possui como maior característica o sistema construtivo onde toda carga da estrutura é suportada pelas vigas, pilares, lajes e fundação. Tendo função de dividir espaços, toda sua estrutura é feita de concreto armado, argamassa para os assentamentos de formas metálicas ou madeiras utilizadas na concretagem. De acordo com Bastos (2014), é o modo mais tradicional encontrado nas obras, pois permite uma maior flexibilidade com as paredes pois estas não têm função estrutural no projeto.

Por outro lado, Segundo Mendes (2021), a alvenaria estrutural tem como característica paredes que exercem função estrutural onde o peso da estrutura é distribuído para fundação, sendo assim desnecessário a construção vigas e pilares, as paredes em alvenaria estrutural tem a função também de serem isolantes térmicos e acústicos.

Portanto neste contexto, surgiu o Insulated Concrete Forms (ICF) que consiste em um sistema denominado de Moldes Isolantes para Concreto, é um sistema construtivo a ser estudado e explorado por apresentar-se ao mercado como inovador, simples, de baixo custo, sustentável e que contribui para o conforto térmico ambiental, basicamente é feito de preenchimento de painéis de isopor com concreto, e por não usar formas de madeira na sua construção acaba tornando mais sustentável apesar de um consumo maior de concreto.

“Todavia, tendo a busca pelo desenvolvimento sustentável, com um menor custo financeiro ao longo prazo e com uma melhoria nas condições de moradia nas edificações,

disseminar as informações sobre as novas tecnologias na indústria construtiva é essencial” (CCPI,2016).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Construção Civil

Na engenharia civil a construção é a execução de um projeto onde a execução de obras como casa , edifícios, pontes, aeroportos e outras infraestruturas, bem como a execução de todas as partes de um projeto desde a criação do projeto ao acabamento, respeitando as técnicas construtivas e as normas.

Nesse contexto, no Brasil a normas técnicas são executadas através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e do CREA que cuida sobre o profissional fiscalizando e a responsabilidade civil.

“Os termos construção civis e engenharia civil existe deste da época que só havia duas classificações para a engenharia sendo militar ou civil” (PETERSON,1992).

Por definição construção civil é o nome utilizado para descrever uma obra que agregue com uma comunidade, cidade ou população

Segundo Pronex (2010), A Construção Civil é um ascendente de representatividade no Brasil, e indicação importante do crescimento da economia. O papel da Construção Civil está vinculado com o bem-estar da população, atingindo os princípios da cidadania, como inclusão social e divisão entre espaços privados e públicos.

Um acontecimento crucial para a Construção Civil foi a introdução da roda, identificada entre os sumérios por volta de 3.500 a.C. Essa ferramenta simplificou o transporte, possivelmente viabilizando a construção de estruturas monumentais, como as Pirâmides, Castelos, Fortes e a Muralha da China.

O início da Engenharia Civil no Brasil remonta ao período colonial, marcado pela construção de igrejas e fortificações pelos portugueses. O estabelecimento de escolas de Engenharia Civil ocorreu somente em 1810, quando a Família Real Portuguesa decidiu residir no Brasil. Outro marco significativo na engenharia civil brasileira foi durante o governo de Getúlio Vargas na ditadura em 1940, considerada o ápice da construção civil no país, com o Brasil destacando-se na tecnologia do concreto armado. Nos anos 1950 e 1960, os principais investimentos na Construção Civil partiram de organização particulares.

Na década de 1970, a intervenção estatal aumentou, e as construtoras privadas passaram a focar exclusivamente em edifícios residenciais e salas comerciais. Na década de 1990, houve um aumento na preocupação com a qualidade do trabalho realizado, levando as construtoras a investir mais intensamente na qualificação de seus profissionais.

A construção civil no Brasil é um dos setores mais importantes da economia em um país em desenvolvimento como o nosso, pois é responsável pelo impacto direto no PIB (Produto Interno Bruto) por gerar milhares de empregos.

2.2 Alvenaria Convencional

Pode-se considerar alvenaria convencional quando usado materiais como concreto armado, vigas e pilares, tijolo cerâmico para vedação. O tijolo é o produto para construção mais antigo que existe até hoje. “Escavações em Jericó revelaram a que existam tijolos a mais de seis mil anos antes de Cristo, mas o sucesso só se pode devido as condições deste material sendo elas a facilidade de obtenção e a demanda (BROCK,1994)”.

São tijolos cuja matéria prima principal é a argila que é um material natural com estrutura terrosa e fina. Apresenta formato de paralelepípedo com furos ao longo do comprimento normalmente depois da queima adquirem uma coloração avermelhada.

De acordo com a NBR 15270-1 (2005), os blocos cerâmicos para vedação constituem alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a cargas verticais, além do peso da sua própria alvenaria.

De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Sebrae (ANO), a argila é retirada de jazidas e estocada em pátio para o processo de cura, através de

transformações físicas e químicas melhorando suas propriedades. Feito a cura da argila, é processada pelo moinho, destorrador, misturador e laminador, tendo a forma requerida a partir da extrusão, corte e da prensagem. O próximo passo é levar as peças para a área de secagem, tomando cuidado para a não haver a secagem excessiva e rápida podendo causar retração, provocando assim o surgimento de rachuras. No final, e feito a queima do produto em fornos, sofrendo reações e transformações químicas e físicas para que o produto consiga propriedades necessárias ao uso, finalizando o processo de fabricação.

Antes de ser utilizado o tijolo na obra tem que haver a preparação da parte estrutural que é concreto armado é definido como o material de construção composto por concreto armado e barras de aço em seu interior. As barras de aço, que constituem a armadura, são colocadas na fôrma, antes do lançamento do concreto. Este engloba as barras de aço, criando-se, após endurecimento, um elemento de concreto armado.

“As estruturas de edifícios executados em concreto armado comumente recebem a denominação de estruturas convencionais ou tradicionais, as quais são constituídas por pilares, vigas e lajes produzidas com concreto armado moldado no local
“(BARROS:MELHADO,1998)

A estrutura de concreto armado é demasiado utilizado no Brasil. As barras de aço envolvidas pelo concreto moldado in loco, em fôrmas de madeira, permitem a obtenção de estruturas aptas a resistir a variadas sobrecargas. Para isso é necessário que elas sejam convenientemente calculadas. No cálculo estrutural define-se, em função das cargas a que estará submetido o edifício, entre outras, as dimensões de pilares, vigas e lajes, bem como as correspondentes armaduras e a composição do concreto a ser utilizado. Fator relevante também, do ponto de vista econômico e ecológico, é o estudo criterioso das fôrmas de madeira. É interessante analisar o reaproveitamento das fôrmas, buscando um número ótimo de reutilizações das mesmas, porém sem comprometer a condição final da estrutura.

Conforme Italo Lacerdas e Maiza Gonçalves (2022)

Principais vantagens:

- materiais econômicos e disponíveis com abundância;
- facilidade de moldagem, permitindo adoção múltiplas formas;

- emprego abundante de mão de obra não qualificada e equipamentos simples;
- elevada resistência à ação do fogo;
- elevada resistência ao desgaste mecânico;
- grande estabilidade sob ação das intempéries, dispensando trabalhos de manutenção;
- aumento, como o passar do tempo, da resistência à ruptura;
- facilidade e economia na construção com estruturas contínuas, sem juntas. dentre as desvantagens do concreto armado estão:
- as reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução;
- a utilização resulta em elementos com maiores dimensões em comparação a estruturas de aço e apresentam um peso próprio muito grande devido seu peso específico elevado, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo;
- é necessário um sistema de fôrmas e a utilização de escoramento (quando não se faz uso de pré-moldagem), que, geralmente, necessitam permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada.

2.2.1 Método de Construção

Alvenaria convencional de concreto armado: consiste em uma parede formada por tijolos cerâmicos de 6 furos, geralmente de dimensões 9x14x19 cm. Quando revestida com argamassa, a parede apresenta uma espessura de 25 mm, resultando em uma espessura total de 14 cm.

Para avaliar os custos de construção, faremos uma comparação entre os três métodos em um projeto padrão unifamiliar de uma casa. A execução da alvenaria convencional segue a abordagem proposta por Cleiton e Cardoso (2009): na estrutura, são utilizados pilares e vigas com dimensões de 15x30 cm,

moldados em fôrmas de madeira e armados com barras de aço de espessura $\varnothing 10$ mm. A taxa de armadura é de 80 kg/m^3 de concreto, utilizando concreto usinado bombeável com resistência de $f_{ck}=20 \text{ MPa}$.

As vergas e contravergas são pré-moldadas, com cruzamento de 30 cm para cada lado do vão sobre o qual estão sendo executadas. Na parte de vedação, são empregados tijolos cerâmicos de 8 furos, com dimensões de $9 \times 14 \times 19 \text{ cm}$, assentados com argamassa de revestimento de espessura de 25 mm, tanto interna quanto externamente. A argamassa é preparada em betoneira, seguindo a proporção de 1:2:8 de cimento, cal e areia.

No que diz respeito aos revestimentos, a camada externa inclui a aplicação de chapisco tanto na alvenaria quanto nas estruturas de concreto da fachada. O rolo para textura acrílica e a argamassa industrializada são empregados, sendo esta última preparada manualmente. O emboço ou massa única é aplicado em panos de fachada com vãos, apresentando espessura de 25 mm.

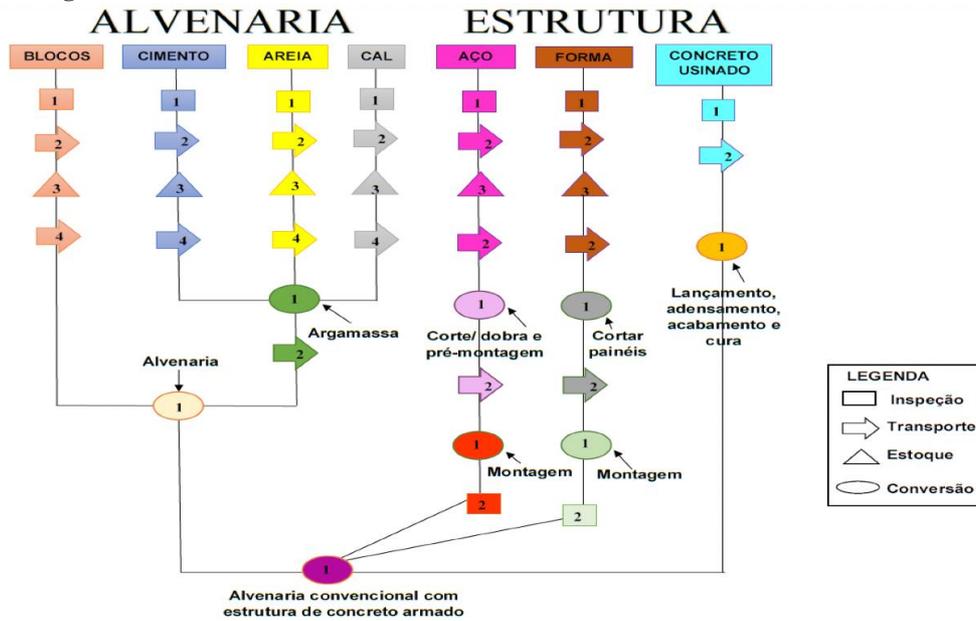
Para o revestimento interno, é realizado chapisco em alvenaria e em estruturas de concreto internas, com aplicação de rolo para textura acrílica. Utiliza-se argamassa industrializada preparada manualmente, e a massa única, destinada ao recebimento de pintura, é aplicada de forma manual em faces internas de paredes, apresentando espessura de 20 mm, com a execução de taliscas.

2.2.2 Desempenho Térmico

Em relação ao desempenho térmico, temos a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), a transmitância térmica total (U_T) é o inverso da resistência térmica total (R_T); Sistema construtivo convencional temos $U = 2,48^b$ (ABNT, 2013).

2.2.3 Fluxo Físico pela filosofia de Lean Construction

Figura 1: Fluxo Físico da alvenaria estrutural



Fonte: JESUS, ANDRESSA; E&S – Engineering and Science, 2018.

2.2.4 Custo Total

Segundo CUB/m² (2023) Em relação ao custo para alvenaria convencional de um projeto padrão-casa popular³ pela CAIXA, temos um valor de 2801,93 R\$/ m² para o padrão R-1.

2.3 Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo em que as paredes da construção resistem a cargas, e substituem os pilares e vigas utilizados nos sistemas de alvenaria convencional.

As paredes não são apenas elementos de vedação, com também elementos resistentes a cargas verticais de lajes, ocupação e peso próprio e a cargas laterais resultantes da ação do vento e desvios de prumo. Portanto as paredes devem apresentar as funções:

³ R1-B Residência unifamiliar padrão baixo: 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.³

- Resistir às cargas verticais;
- Resistir às cargas de vento;
- Resistir à impactos e cargas de ocupação;
- Isolamento termoacústico os ambientes;
- Prover impermeabilidade da água da chuva e do ar;
- Ter um bom desempenho contra a ação do fogo.

“A coordenação modular é a técnica que permite vincular as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência (ABCI,1990)”.

A modulação é uma base muito importante dentro do sistema de coordenação dimensional utilizado nos edifícios de alvenaria estrutural. O arquiteto, desde a elaboração dos primeiros traços, deverá trabalhar sobre uma malha modular.

Dentre as vantagens proporcionadas pela adoção da coordenação dimensional, tem-se as seguintes: Segundo ROMAN; MUTI e ARAÚJO (1999), uma desvantagem é falta de mobilidade em se retirar paredes da edificação, por motivo destas desempenharem funções estruturais.

- Simplificação das atividades de elaboração do projeto;
- Padronização dos componentes e materiais;

- Possibilidade de normalização, substituição, tipificação, e composição dos componentes padronizados;
- Redução dos desperdícios com adaptações;
- Maior precisão dimensional;
- Diminuição de erros da mão-de-obra, com conseqüente aumento da qualidade e produtividade.

De acordo com ABCI (1990), agora na parte da representatividade de cada no plano vertical se tem o nome de *paginação*: com o detalhamento de janelas essas com vergas e contravergas, portas, instalações etc.

A utilização da alvenaria estrutural vem difundida no país, principalmente devido às vantagens econômicas ao qual este processo construtivo apresenta em relação aos tradicionais.

Roman (1990), fala que o principal benefício da alvenaria estrutural se dá em que o mesmo elemento pode fazer diversas funções.

- Ser favorável a uma vasta variedade de usos funcionais;
- Concorrer técnica e economicamente com estruturas em aço ou concreto
- Apresentar facilidades tanto no detalhamento como no projeto;
- Reduzir o número de subcontratados e diminuir os tipos de material em obra;
- Ser extremamente durável, exigindo pequena manutenção;
- Ter boas características de isolamento térmico e acústico;
- Permitir grande mobilidade ao projetista, por ser fundamentado em uma unidade de pequena dimensão (bloco cerâmico ou concreto);

De acordo com Mohamad (1999) as principais impraticabilidade do sistema construtivo em alvenaria estrutural:

- Deficiência do ensino de alvenaria estrutural;
- Resistência à compressão utilizada no projeto de paredes em alvenaria é geralmente inferior do que as usadas no aço ou concreto armado.

Segundo Araújo (1999), alvenaria estrutural deve ser construída a partir da coordenação de projetos, que buscam: Promover a integração entre os participantes, garantindo assim a comunicação e a troca de informações entre os integrantes. O Controle das etapas do projeto em desenvolvimento, de forma que ele seja executado seguindo as especificações e requisitos previamente definidos como custos, prazos e especificações técnicas.

2.3.1 Método de construção

Alvenaria estrutural de bloco cerâmico é composta por uma parede de blocos cerâmicos de 14x19x29 cm, e quando revestida com argamassa, atinge uma espessura de 25 mm, resultando em uma espessura total de 19 cm.

Para avaliar os custos de construção, vamos comparar os três métodos em um projeto padrão unifamiliar de uma casa. A execução da alvenaria estrutural segue as diretrizes de Ramalho e Corrêa (2003):

Na parte estrutural/vedação, utiliza-se uma cinta de amarração moldada in loco, com a utilização de blocos canaleta e concreto usinado bombeado com resistência de $f_{ck}=20$ MPa. Vergas e contravergas são pré-moldadas, com um transpasse de 30 cm para cada lado do vão sobre no qual estão sendo executadas.

Na alvenaria, são empregados blocos cerâmicos de 14x19x29 cm, assentados com argamassa de revestimento de 25 mm de espessura, tanto interna quanto externamente. A argamassa é preparada em betoneira na proporção 1:1:6 de cimento, cal e areia.

Quanto aos revestimentos, o revestimento externo envolve chapisco aplicado em alvenaria com vãos e em estruturas de concreto de fachada, com utilização de rolo para textura acrílica. A argamassa industrializada é preparada manualmente, e o emboço ou massa única,

com traço 1:2:8, é aplicado manualmente em panos de fachada com presença de vãos, apresentando espessura de 25 mm.

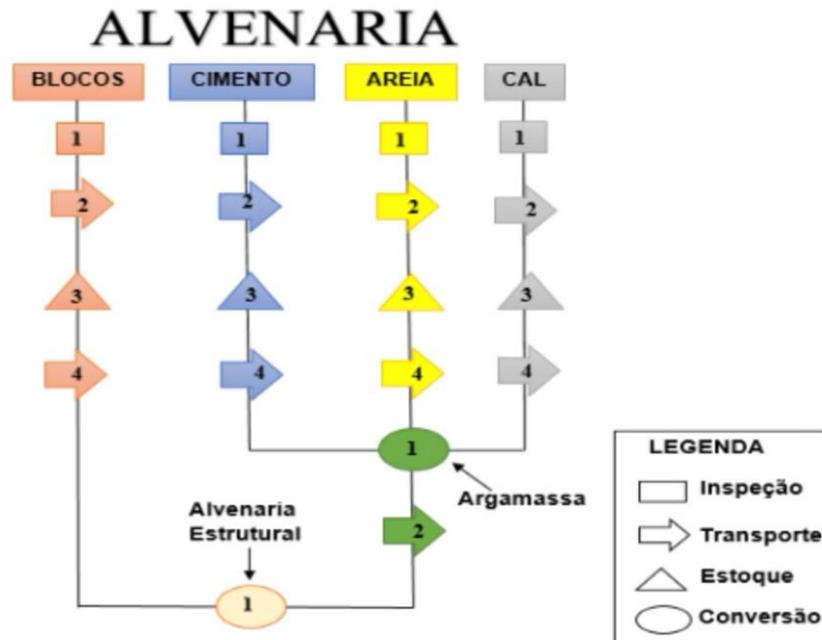
Para o revestimento interno, é realizado chapisco aplicado em alvenaria e estruturas de concreto internas, com o uso de rolo para textura acrílica. A argamassa industrializada, preparada manualmente, é aplicada manualmente em faces internas de paredes. A massa única, destinada ao recebimento de pintura, apresenta traço 1:2:8, espessura de 20 mm e é aplicada com execução de taliscas.

2.3.2 Desempenho Térmico

Em relação ao desempenho térmico, de acordo com a ABNT NBR 15.575-4 (2013), a transmitância térmica total (U_T) é o inverso da resistência térmica total (R_T); Sistema construtivo convencional temos $U = 1,85 \text{ b}$

2.3.3 Fluxo Físico pela filosofia de Lean Construction

Figura 2: Fluxo físico da alvenaria estrutural



Fonte: JESUS, ANDRESSA; E&S – Engineering and Science, 2018.

2.3.4 Custo Total

Segundo a SINAPI (2023) Em relação ao custo para um projeto padrão-casa popular pela CAIXA em alvenaria estrutural temos um valor de 1707,00 R\$/m² para o padrão R-1.

2.4 Sistema Insulated Concrete Forms

Conforme IPEA (2010), A indústria da construção civil consome mais de 60% dos recursos naturais globais, tornando-se altamente insustentável. Atualmente, as atividades econômicas e sociais têm o potencial de desencadear transformações profundas no sistema global em uma escala complexa, interligada e acelerada.

Com o objetivo de desenvolver algo inovador, simples, de baixo custo, sustentável e autoportante, que incorporasse elementos termoacústicos ao ambiente.

O sistema construtivo Insulated Concrete Forms (ICF) apresenta grande potencial nas construções, proporcionando baixa condutividade térmica e acústica, impermeabilidade, além da redução significativa nos prazos de execução de obras. Este método também se destaca pela significativa minimização de desperdícios e pelo aproveitamento otimizado da mão de obra. Com o intuito de reduzir os possíveis problemas como: a demora no processo de colocação, execução correta de aplicação, custos da edificação e incidência de problemas patológicos, se faz necessário a interação e utilização de mão de obra qualificada, mesmo o processo não sendo muito complexo.

Conforme a ICF Construtora (2015), a utilização completa do sistema ICF reduz os custos relacionados à remoção de entulho em até 98%. Em comparação com uma construção convencional, que, quando não possui controle efetivo de qualidade e produtividade, pode chegar a desperdiçar entre 35 a 40% do material empregado na obra.

O ICF é um sistema constituído por dois painéis leves formados por camadas de material isolante, normalmente usado na confecção o EPS (*poliestireno expandido*), unidos por ligações de aço ou plástico integrante do mesmo material isolante. Os painéis foram elaborados com a intenção de formar uma estrutura simples, modernizada, e baixo custo, sustentável e autoportante, que não desmoroasse e que agregasse propriedades térmicas e acústicas ao ambiente construído. (ICF Builder Magazine ,2011).

2.4.1 Método de Construção

O sistema ICF é composto por formas de EPS de 120x30x14 cm, e quando revestido com argamassa, atinge uma espessura de 20 mm, resultando em uma espessura total de 18 cm.

Para avaliar os custos de construção, será feita uma comparação entre os três métodos em um projeto padrão de uma casa unifamiliar. A implementação do sistema ICF segue as diretrizes descritas pela IFORMS (2020):

Na parte estrutural/vedação, são utilizadas fôrmas de EPS de 120x30x14 cm, preenchidas com concreto usinado bombeado com resistência de $f_{ck}=20$ MPa. Barras de aço com a bitola de $\varnothing 6,3$ mm são posicionadas vertical e horizontalmente, e presilhas plásticas são

usadas para a amarração dos aços que configuram uma grade. Além disso, uma tela de poliestireno é colocada sobre as fôrmas para receber o revestimento.

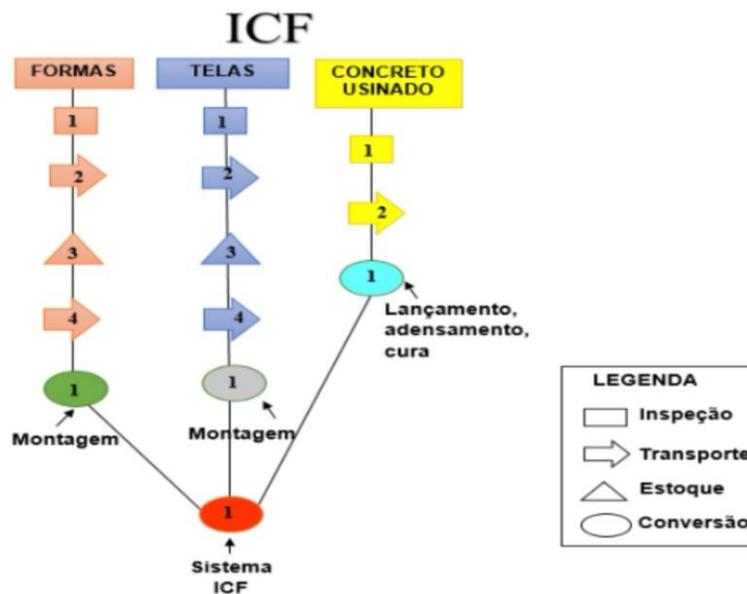
No que diz respeito ao revestimento externo e interno, o processo envolve o chapisco aplicado nas formas de EPS, utilizando uma argamassa mista de cimento, areia média limpa e aditivo. A massa única é então aplicada nas fôrmas de EPS, utilizando uma argamassa mista composta por cimento, areia média lavada, aditivo para argamassas, aditivo plastificante vedalite e microfibras.

2.4.2 Desempenho Térmico

Em relação ao desempenho térmico, a ABNT NBR 15.575-4 (, 2013) determina que a transmitância térmica total (U_T) é o inverso da resistência térmica total (RT); Sistema construtivo convencional temos $U = 0,42^{\circ}\text{C}$.

2.4.3 Fluxo Físico pela filosofia de Lean Construction

Figura 3: Fluxo Físico no método ICF



Fonte: JESUS, ANDRESSA; E&S - Engineering and Science, 2018.

2.4.4 Custo Total

Em relação ao custo do sistema ICF, desenvolveu-se uma composição analítica para a execução da estrutura/vedação, chapisco e reboco por 1 m², essas composições foram elaboradas segundo dados providos pela Construtora ICF (2023).

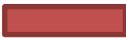
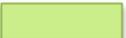
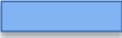
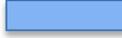
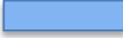
Em relação ao custo para Sistema ICF de um projeto padrão-casa popular pela CAIXA temos um valor de 3,200 R\$/m² para o padrão R-1.

CONCLUSÃO

Com o propósito de fomentar a exploração de novos métodos construtivos e promover a eficiência nos canteiros de obra, procurou-se enfatizar a importância dos três sistemas construtivos disponíveis no setor. O estudo atual permitiu a expansão do conhecimento sobre as Formas Isolantes para Concreto (Insulating Concrete Forms - ICF), chegando à conclusão

que é um método construtivo viável, tanto na diminuição dos processos de execução quanto em relação ao desempenho térmico na construção.

Tabela 1-Classificação dos sistemas construtivos quanto aos resultados obtidos

Sistemas	Desempenho térmico	Fluxo de Atividades	Custo
Alvenaria convencional			
Alvenaria estrutural			
Sistema ICF			

Legenda:  - Sistema com maior desempenho
 - Sistema com desempenho intermediário
 - Sistema com o menor desempenho

Os dados orçamentários revelaram que o sistema de (EPS) fôrmas de poliestireno expandido apresentou um custo 46,66% mais alto do que o a alvenaria estrutural e 14,47% mais caro que o sistema de alvenaria convencional. No entanto, salienta-se que o parâmetro econômico não é o único a ser considerado na escolha do sistema a ser adotado.

Na avaliação de desempenho térmico, a parede com vedação de fôrmas EPS demonstrou os mais satisfatórios resultados, e ainda atendendo aos requisitos estabelecidos pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Essa eficiência é atribuída, principalmente, aos baixos índices de transmitância e condutibilidade térmica do poliestireno expandido, melhor dizendo, à sua capacidade de proteger o ambiente contra as alterações de temperatura externas, o que resultar em redução nos gastos com energia elétrica.

No que diz respeito aos processos de elaboração dos sistemas construtivos, é perceptível que o sistema ICF proporciona uma redução significativa das atividades que não acumulam valor ao produto final, tendo um potencial mais eficiente do que os demais sistemas analisados. Essa característica se mostra como um fator relevante em empreendimentos que visam a agilidade de execução, a minimização de desperdícios e uma maior racionalização.

Tabela 2 -Análise de custo-benefício

Sistemas	Desempenho térmico	Fluxo de Atividades	Custo	Custo/ Benefício
Alvenaria convencional	1	1	2	2/2
Alvenaria estrutural	2	2	1	1/4
Sistema ICF	3	3	3	3/6

Diante da busca da indústria da construção civil por alternativas construtivas que combinem menores custos com vantagens construtivas ampliadas, sugere-se a alvenaria estrutural como uma opção adequada em termos de relação custo-benefício, seguida pelo ICF e pela alvenaria convencional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13531:1995. **Elaboração de projetos de edificações: Atividades técnicas** - Procedimento. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1:2005. Componentes cerâmicos Parte 1: **Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação** - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136:1994. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural** - Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

AGARWAL, S.; GUPTA, R. K. *Plastics in Buildings and Construction*. Chapter 32. Applied Plastics Engineering Handbook. **Processing and Materials**. Elsevier Inc, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** - Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.575**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15.575** Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

. BLAIR, J. **Disadvantages of building with Insulated Concrete Forms**. Disponível em: Acesso em: jan. 2018.

EKRAMI, N.; GARAT, A.; FUNG, A. S. **Thermal Analysis of Insulated Concrete Form (ICF) Walls**. The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE 2015. In: Energy Procedia, Elsevier Inc, v.75, p.2150-2156, 2015.

FIGUERÊDO, Patrícia. **Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil.** Disponível em:<<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

KATO, Ricardo Bentes. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta.** 2002. 104f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ICF CONSTRUTORA. **Memorial Descritivo ICF,** 2015.

ISATTO, E. L. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil.** Sebrae. Porto Alegre, 2000. 177 p.

MANNEUL LACERDAS , ITALO E STEFFANY DUARTE GONÇALVES, MAIZA ,**UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS ENTRE A ALVENARIA ESTRUTURAL E A ALVENARIA CONVENCIONAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA** Edição 117 DEZ/22 SUMÁRIO, Engenharias / 23/12/2022

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Estruturas em Alvenaria e Concreto Simples.** São Paulo: Editora Blucher, 1995. 374 p.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SILVA, A. H. da **Comparação de custos entre os processos construtivos em concreto armado e em alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e de concreto.** 2002. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

JESUS, ANDRESSA; et al; **Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto** (Icf). E&S – Engineering and Science, 2018, 7:3. 27 E&S - Engineering and Science ISSN: 2358-5390

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. **Vantagem Produtiva do Sistema Light Steel Framing: da construção enxuta à racionalização construtiva.** In: XIII Encontro

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/214.pdf>>. Acesso em: out. 2021.

VECHIATO, Amanda Maria Veanholi. Estudo de métodos construtivos inovadores com poliestireno expandido. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SANTOS, Túlio César de Carvalho; BERZOINI, Isabela Dianim. SISTEMA CONSTRUTIVO INSULATED CONCRETE FORMS (ICF): ESTUDO DE CASO VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2020.

PEREIRA, Brenda dos Santos; MENDES, Janaína Moreira. Comparativo de custo e produtividade dos métodos construtivos em EPS e concreto armado. 2021.