

Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf)

Comparative Analysis of Constructive Systems in Conventional Masonry, Structural Masonry and Insulating Concrete Forms (Icf)

¹Andressa Tainara Campelo de Jesus, ²Maria Fernanda Fávero Menna Barreto

¹Engenheira Civil, Faculdade de Arquitetura Engenharia e tecnologia, FAET – Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança, Cuiabá – MT, (andressatainara_@hotmail.com)

²Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Mestra em Engenharia Civil (UFRGS), Av. Paulo Gama, 110 - Farrroupilha, Porto Alegre - RS, (mfmennabarreto@gmail.com)

RESUMO: Com a finalidade de aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e custos, a indústria da construção civil tem buscado novos métodos construtivos que substituam os sistemas tradicionalmente utilizados. Nesse contexto, o sistema com Moldes Isolantes para Concreto (*Insulating Concrete Forms - ICF*) surge como uma alternativa a ser explorada, consistindo em uma estrutura que incorpora fôrmas feitas de poliestireno expandido (EPS), que após sua montagem, são preenchidas com concreto armado. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é comparar técnica e financeiramente o sistema construtivo em ICF, em relação aos sistemas equivalentes convencionais de alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural. Os critérios técnicos avaliados foram o de desempenho térmico pelo método simplificado segundo a NBR 15.575 e o de racionalização dos processos de produção (filosofia *Lean Construction*) enquanto no orçamentário determinou-se os custos para a produção dos sistemas. O sistema ICF apresentou os menores índices de transmitância térmica, proporcionando a melhor proteção do ambiente interno em relação às mudanças externas de temperatura. Além disso, exibiu maior eficácia da produção no canteiro de obra e no uso dos princípios da *Lean Construction*. Em termos de custos, a alvenaria estrutural se apresentou como o mais vantajoso, seguido pelo sistema ICF. Visando atender às necessidades do construtor brasileiro que busca aliar menores custos com maiores vantagens construtivas, concluiu-se que a alvenaria estrutural apresenta melhor relação custo-benefício, seguida do sistema ICF e da alvenaria convencional.

Palavras chave: Sistema ICF. Sistema de vedação vertical. Materiais e Componentes de Construção.

ABSTRACT: In order to increase productivity, reduce waste and costs, the construction industry has been looking for new constructive methods to replace the systems traditionally used. In this context, the Insulating Concrete Forms (ICF) systems come up as an alternative to be explored. It consists of a structure formed by EPS forms filled with reinforced concrete after its assembly. Therefore, this article aims to compare technically and financially the ICF construction system in relation to the conventional equivalent systems of masonry with reinforced concrete structure and those composed of structural masonry. The technical criteria evaluated were thermal performance according to NBR 15.575 and rationalization of production processes (*Lean Construction* philosophy) while in the budget the production costs of the systems were determined. The ICF system presented the lowest values of thermal transmittance, providing the best internal environment protection in relation of temperature changes. In addition, it showed greater production efficiency in the construction site and in the use of *Lean Construction* principles. In terms of costs, the structural masonry was the most advantageous, followed by the ICF system. In order to meet the needs of the Brazilian builder, who seeks to combine lower costs with greater construction advantages, it was concluded, in a general analysis, that structural masonry presents a better cost-benefit relation, followed by ICF system and conventional masonry.

Keywords: ICF system. Vertical sealing system. Construction Materials and Components.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil brasileira tem buscado soluções que visam substituir os tradicionais métodos de construção por processos com maior grau de industrialização, com o mínimo de perda de materiais, implantação dos sistemas de controle de qualidade e que ainda garantam o desempenho da edificação. Segundo Vivan, Paliare e Novaes (2010), há necessidade de produzir em larga escala, porém, “o atual modelo de gestão dos processos envolvidos nas construções é incompatível com as necessidades e objetivos da produção seriada”.

Nesse contexto, o sistema denominado de Moldes Isolantes para Concreto (*Insulating Concrete Forms - ICF*) surge como um sistema construtivo a ser explorado, que consiste, basicamente, no preenchimento de painéis de plásticos (poliestireno expandido - EPS ou poliestireno extrudado - XPS) com concreto, aliando à resistência estrutural e durabilidade deste, propriedades térmicas, de resistência à água, estanqueidade do ar e melhor proteção acústica daqueles (AGAEWAL E GUPTA, 2011).

Tal sistema incorpora fôrmas feitas de poliestireno expandido (EPS) de alta densidade, montadas por encaixe tipo macho e fêmea, em seguida são preenchidas telas de aço e concreto, tornando as paredes com funções simultâneas de vedação e estrutural (Figura 1).

Figura 1 – a) Sistemas ICF sendo executado em obra; b) Detalhamento da execução do sistema



Fonte: a) ISOCRET (s. d.); b) FastHouse.Eco (s.d.)

A técnica de construção do sistema ICF foi desenvolvida pela primeira vez na Europa após a Segunda Guerra Mundial como uma forma barata e duradoura de reconstruir estruturas danificadas. As primeiras fôrmas de poliestireno ICF foram desenvolvidas no final da década de 1960 com a expiração da patente original e o advento dos modernos plásticos de espuma. O empreiteiro canadense Werner Gregori arquivou a primeira patente para uma fôrma de concreto de espuma em 1966, semelhante aos blocos de ICF comercializados atualmente (PIERSON, s.d.).

O sistema ICF foi trazido para o Brasil em 1999, quando um brasileiro que residia nos Estados Unidos desenvolveu um desenho industrial, disseminando o método pelo país. Desde então, tem ganhado notoriedade e usado em obras de pequeno, médio e grande porte, destacando-se a Igreja Nossa Senhora do Caravaggio, em Rio Claro (SP) e o grande centro comercial, conhecido como Shopping Popular, em Cuiabá (MT) (Figura 2).

Figura 2 – a) Igreja Nossa Senhora do Caravaggio, em Rio Claro (SP); b) Shopping Popular, em Cuiabá (MT)



Fonte: a) ISOCRET (s.d); b) FERREIRA (2012).

Segundo o Manual Técnico da ICF CONSTRUTORA (2015), apesar de o sistema admitir qualquer tipo de fundação, deve-se dar preferência à sapata corrida ou radier, por facilitarem a marcação do perímetro da parede e orientarem o posicionamento e a colocação das fôrmas. Em ambos os casos, serão deixadas esperas de aço CA-50 na bitola a ser determinada pelo cálculo, a partir da fundação, no comprimento de 60 cm que direcionará a primeira fiada de fôrmas de EPS, dando origem à estrutura/vedação da obra.

As fôrmas a serem usadas usualmente apresentam as dimensões de 120x30x14cm, sendo a camada de concreto armado de 0,06 m de espessura. O concreto possui resistência mínima de 15 MPa armado com aço CA-50, cujo diâmetro varia de 6,3 a 10mm, conforme o projeto estrutural, em toda a extensão da parede com barras de aço no sentido horizontal a cada 24 cm e vertical a cada 30 cm. Deve-se começar a montagem do sistema pelos cantos, seguindo em direção ao centro da parede.

As paredes são chapiscadas com argamassa mista de cimento, areia média lavada e aditivo e rebocadas com massa única em argamassa mista de cimento, areia média lavada, aditivos e microfibras. Por fim, as instalações elétricas e hidráulicas se encaixam em aberturas executadas com qualquer ferramenta de corte, na superfície das fôrmas de EPS, com espessura de 65 mm, ficando, assim, embutidas na parede (Figura 3).

Figura 3 – Instalação elétrica embutida na fôrma



As principais vantagens do sistema ICF são o alto desempenho térmico e acústico, redução de desperdícios de materiais, resistente a abalos sísmicos e furacões, material de fácil transporte, redução da mão de obra e aumento da produtividade (ICF CONSTRUTORA, s.d.). Ademais, tal sistema também tem potencial para o armazenamento de energia térmica a curto prazo em edifícios, no entanto, essa propriedade ainda não foi investigada em detalhe (EKRAMI, GARAT E FUNG, 2015).

Dentre as desvantagens desse sistema, pode-se citar a restrição quanto ao número de pavimentos e a limitação quanto à remodelação, como exemplo, a adição de uma porta ou janela exigirá o corte em paredes sólidas de concreto, procedimento de difícil execução (BLAIR, s.d.).

Não bastando, o setor da construção civil é marcado por seu conservadorismo quanto às inovações tecnológicas, sendo necessário, aos novos sistemas construtivos, comprovar sua eficiência para conquistar a aceitação no mercado.

Diante do exposto, este estudo objetiva comparar técnica e orçamentariamente o sistema construtivo em ICF, em relação aos sistemas equivalentes convencionais de alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural. Para isso, serão avaliados tecnicamente o desempenho térmico pelo método simplificado apresentado na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) e a racionalização dos processos de produção conforme a filosofia *Lean*

Construction, enquanto que orçamentariamente, os custos de produção por meio de orçamentos de serviços. Com isso, procura-se identificar a solução, dentre as estudadas, com a melhor relação custo-benefício às necessidades do construtor brasileiro.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Avaliação do desempenho térmico da edificação

Mantesi *et al* (2017) ressaltam que a quantidade de pesquisa associada ao sistema ICF é limitada e há, atualmente, escassez de dados sobre o seu real desempenho térmico em simulação de desempenho de construção.

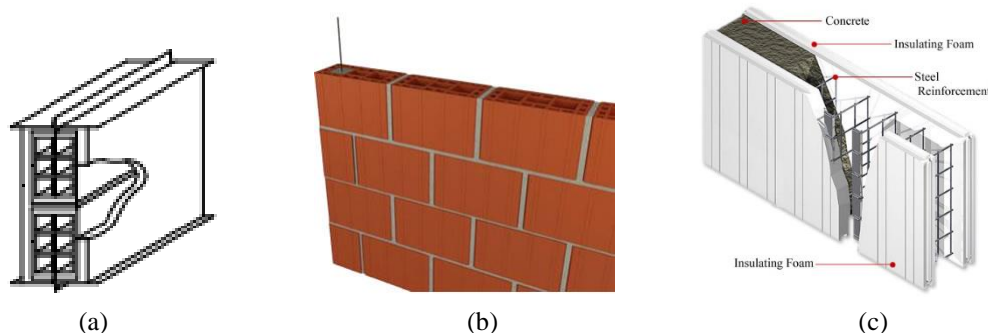
A norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) apresenta dois métodos de avaliação de desempenho térmico: método simplificado e simulação computacional da edificação. Neste trabalho utilizou-se o Procedimento 1 – Simplificado da NBR 15.575-1 (2013), para avaliar e comparar o desempenho térmico da alvenaria convencional, alvenaria estrutural e do sistema ICF. Tal método de avaliação parte do princípio que “a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15.220-3 (ABNT, 2003)” e consiste, basicamente, na comparação dos coeficientes de transmitância térmica (U) e condutividade térmica (λ), com os valores apresentados na NBR 15.575-4 (ABNT, 2014).

Caso tais valores não atendam aos limites estabelecidos para estas grandezas, deve-se efetuar-se uma avaliação do comportamento térmico do edifício por meio de simulação computacional, considerando os dias típicos de projeto, de cidades localizadas nas oito zonas bioclimáticas brasileiras, definidas na ABNT NBR 15.220-3 (ABNT, 2003).

Os valores da transmitância e condutividade térmica para os tijolos e blocos cerâmicos foram obtidos por meio da NBR 15.220-3 (ABNT, 2003) e Santos (2015), respectivamente. Os resultados do sistema ICF foram fornecidos por meio de um laudo técnico elaborado por Leão (2015). Em seguida, tais informações foram comparadas com os valores máximos admissíveis (ABNT, 2013a), segundo as oito zonas bioclimática do país (ZB1 a ZB8) (ABNT, 2003).

As tipologias de paredes consideradas para esta avaliação estão apresentadas na Figura 4 e descritas a seguir;

Figura 4 – a) Tipologia de parede da alvenaria convencional; b) Tipologia de parede da alvenaria estrutural; c) Tipologia de parede do sistema ICF



Fonte: ABNT NBR 15.220-3 (2005), Cerâmica Roque (n.d.) e INCONCRETO (n.d.).

a) Alvenaria convencional com estrutura de concreto armado: parede composta por tijolos cerâmicos de 6 furos quadrados 9x14x19cm, assentados na menor direção, com espessura da argamassa de revestimento de 25 mm, interno e externo, totalizando uma espessura total de 14 cm de parede;

b) Alvenaria estrutural: parede com blocos cerâmicos 14x19x29cm, com espessura da argamassa de revestimento de 25 mm, interno e externo, totalizando uma espessura de 19cm; e,

c) Sistema ICF: parede com fôrmas de ICF 120x30x14cm, com revestimento de 20mm em ambas as faces, resultando em uma parede com espessura total de 18 cm.

2.2 Fluxos físicos dos processos de produção

Sabe-se que as perdas por transporte são uns dos maiores problemas encontrados nos sistemas construtivos. Estas perdas estão estreitamente associadas aos fluxos e à logística de produção, e o estudo dos fluxos pode possibilitar a identificação das fontes geradoras de perdas por transporte, assim como de outras perdas na cadeia de valor (ROTHER; SHOOK, 1999).

Sendo assim, para identificar qual dos sistemas construtivos melhor se adequa à filosofia da *Lean Construction*, foram desenvolvidos fluxos físicos, conforme proposto por Isatto (2000), que mostrem o procedimento de produção dos sistemas avaliados, nos quais foram relacionados os fluxos de materiais (processo) e o fluxo de trabalho (operações).

A coleta de dados foi feita por meio de revisão de literatura, visitas a obras e entrevistas com especialistas nesses métodos de construção, com intuito de obter informações específicas sobre como as atividades são desenvolvidas, bem como ainda por observação direta e registro fotográfico em canteiros de obra.

2.3 Avaliação dos custos

Para se realizar a comparação de custos de produção dos três sistemas construtivos, utilizou-se um projeto padrão de uma residência unifamiliar, comumente executada nos programas de habitação social, elaborado pela Companhia de Habitação de Santa Catarina (COHAB-SC), para o sistema de alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado, que posteriormente foi orçado para o sistema e alvenaria estrutural e sistema ICF.

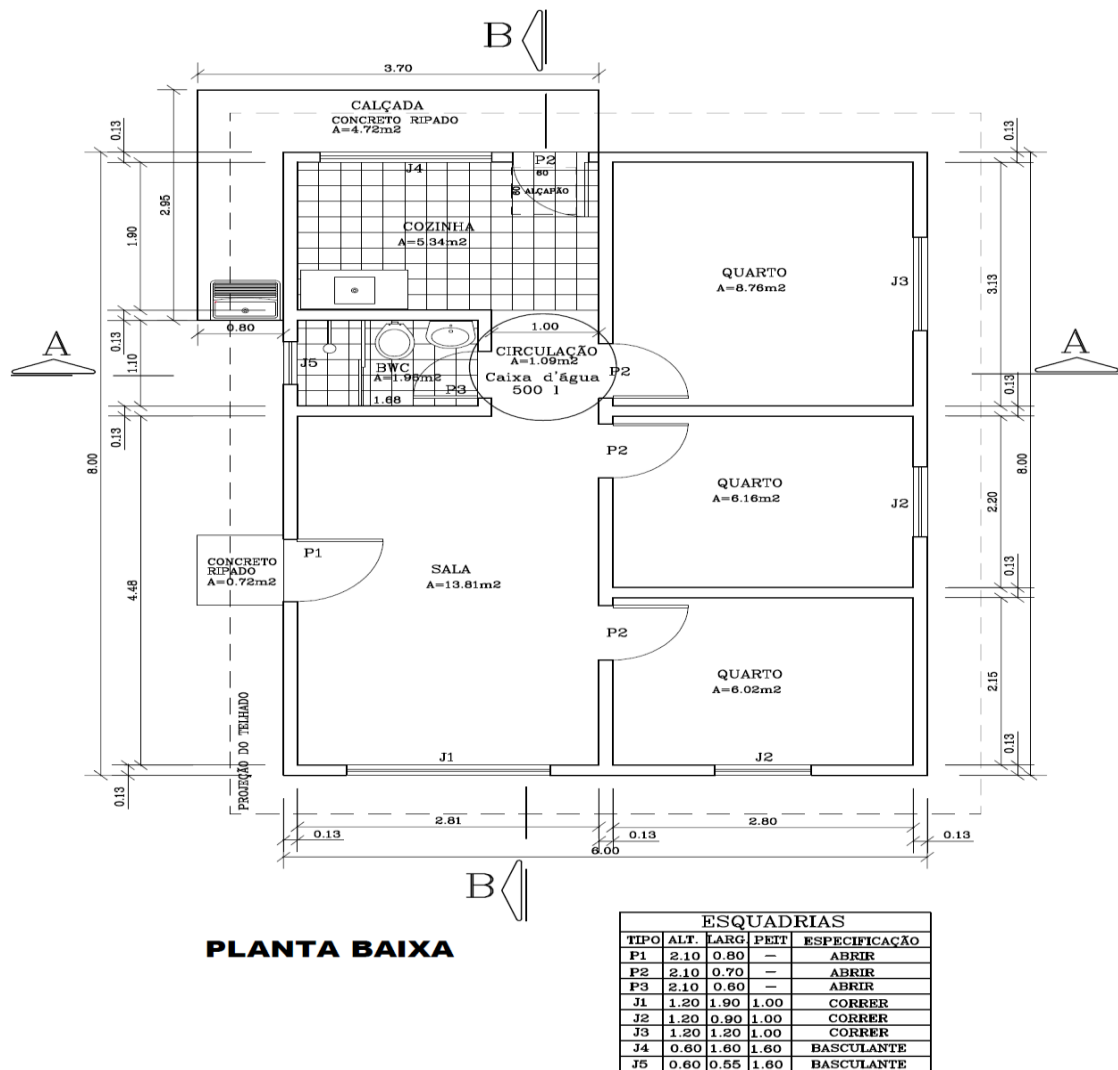
Trata-se de uma construção térrea, com sala, três quartos, banheiro, cozinha e área de serviço, com pé direito de 2,4 metros, totalizando uma área de 48m², conforme Figura 5 e Figura 6.

Para a composição de preço dos serviços da alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado e a alvenaria estrutural foi usada a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2017), não desonerada, com valores referentes ao mês de dezembro deste ano para o estado de Mato Grosso.

Para os orçamentos do sistema em ICF, usou-se dados apresentados pelas empresas ICF Construtora (2015) e ARXX Inc (s. d.). Os quantitativos de insumos e serviços foram baseados na experiência em canteiros de obras, enquanto os preços são os praticados no mercado local do estado de Mato Grosso.

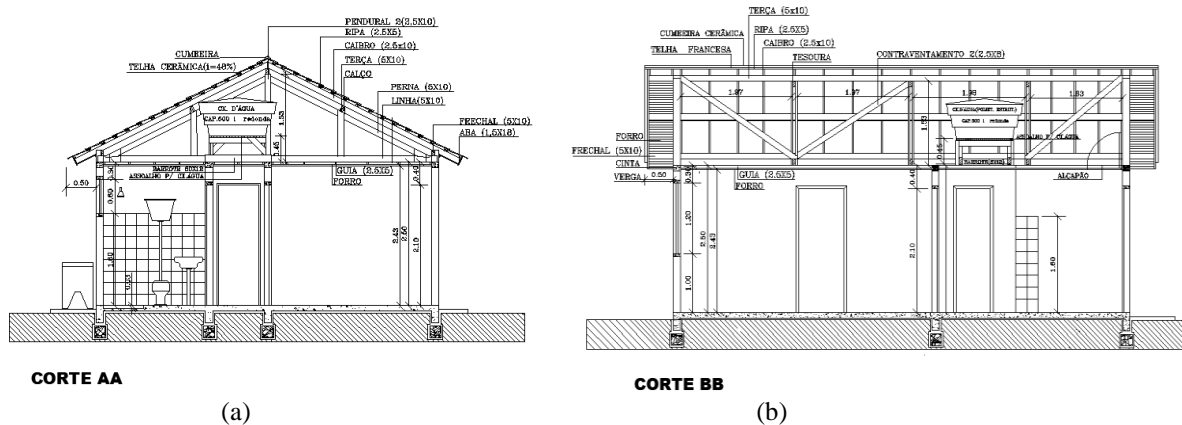
Deve-se destacar que os serviços antecedentes e procedentes que são comuns aos três sistemas não foram levados em consideração, pois apresentam mesmo custo e não alteram o valor final da obra. Sendo assim, foram avaliados apenas os serviços de superestrutura, vedação e revestimento, pois são as etapas que diferem entre si.

Figura 5 - Planta baixa da residência orçada



Fonte: COHAB/SC (2004).

Figura 6 – a) Corte A-A da residência orçada; b) Corte B-B da residência orçada.



Fonte: COHAB/SC (2004).

As características dos sistemas em alvenaria convencional com estrutura de concreto armado, alvenaria estrutural e ICF podem ser consultadas na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Tabela 1 – Memorial descritivo para alvenaria convencional

| Sistemas | Materiais | |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estrutura | Pilares e Vigas | Dimensões 15x30cm, moldadas em fôrmas de madeira, armadas com barras de aço de bitola Ø10mm, com taxa de armadura de 80kg/m ³ de concreto, com concreto usinado bombeável, fck=20 MPa. |
| | Vergas e contravergas | Pré-moldadas, com transpasse de 30 cm para cada lado do vão sobre o qual está sendo executada. |
| Vedação | Alvenaria | Tijolos cerâmicos de 8 furos 9x14x19 cm, assentados com argamassa de revestimento com espessura de 25 mm, interno e externo, feita em betoneira, traço 1:2:8 de cimento, cal e areia. |
| Revestimentos | Revestimento externo | Chapisco aplicado em alvenaria (com presença de vãos) e em estruturas de concreto de fachada, com rolo para textura acrílica. Argamassa industrializada com preparo manual. Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25mm. |
| | Revestimento interno | Chapisco aplicado em alvenaria e em estruturas de concreto internas, com rolo para textura acrílica. Argamassa industrializada com preparo manual. Massa única para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm e execução de taliscas. |

Tabela 2 – Memorial descritivo para alvenaria estrutural

| Sistema | Materiais | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estrutura/ Vedação | Cinta de amarração | Moldada in loco, com utilização de blocos canaleta e concreto usinado bombeado fck=20 MPa. |
| | Vergas e contravergas | Pré-moldadas, com transpasse de 30 cm para cada lado do vão sobre o qual está sendo executada. |
| | Alvenaria | Blocos cerâmicos 14x19x29 cm, assentados com argamassa de revestimento com espessura de 25mm, interno e externo, de cimento, cal e areia, feita em betoneira na proporção 1:1:6 |
| Revestimentos | Revestimento externo | Chapisco aplicado em alvenaria (com presença de vãos) e em estruturas de concreto de fachada, com rolo para textura acrílica. Argamassa industrializada com preparo manual. Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura de 25mm |
| | Revestimento interno | Chapisco aplicado em alvenaria e estruturas de concreto internas, com rolo para textura acrílica. Argamassa industrializada com preparo manual. Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm, com execução de taliscas |

Tabela 3 – Memorial descritivo para sistema ICF

| Sistema | Materiais |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estrutura/ Vedação | Fôrmas de EPS de 120x30x14cm, preenchidas com concreto usinado bombeado fck=20 MPa barras de aço Ø6,3mm para colocação nas posições vertical e horizontal e presilhas plásticas para a amarração dos aços em formato de uma grelha. Deve-se também colocar uma tela de poliestireno sobre as fôrmas para recebimento do revestimento. |
| Revestimentos externos e internos | Chapisco aplicado em fôrmas de EPS, com argamassa mista de cimento, areia média lavada e aditivo. Massa única aplicada em fôrmas de EPS, com argamassa mista de cimento, areia média lavada, aditivo para argamassas, vedalite aditivo plastificante e microfibra. |

3. RESULTADOS

3.1 Desempenho térmico

Segundo a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), a transmitância térmica total (U_T) é o inverso da resistência térmica total (R_T), que por sua vez, é o somatório das resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento, incluindo a resistência térmica superficial interna e a externa.

Para avaliar o requisito de adequação de vedações externas, usando o método simplificado, a norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) apresenta os critérios exigidos para a transmitância térmica (U) das paredes externas, de acordo com as zonas bioclimáticas brasileiras, apresentados na Tabela 4, a qual compara esses valores com os obtidos para a transmitância térmica (U) dos sistemas construtivos analisados.

Com base na Tabela 4, todos os sistemas construtivos têm a transmitância térmica menor que a máxima permitida pela norma NBR 15.575-4 (2013), para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, portanto, os três sistemas atendem ao critério de desempenho mínimo. Logo, não foi necessária a realização da avaliação do desempenho térmico pelo método de simulação computacional da edificação.

Tabela 4 – Comparativo da transmitância térmica conforme NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)

| Sistema construtivo | U (W/m ² .K) | Z1, Z2 ($U \leq 2,5$) | Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8 ($\alpha^a \leq 0,6, U \leq 3,7$) | Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8 ($\alpha^a > 0,6, U \leq 2,5$) |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Parede de tijolos cerâmicos 6 furos 9x14x19cm, e=14cm | 2,48 ^b | Atende | Atende | Atende |
| Paredes de blocos cerâmicos 14x19x29 cm, e=19 cm | 1,85 ^b | Atende | Atende | Atende |
| Parede de fôrmas ICF 120x30x14 cm, e=18cm | 0,42 ^c | Atende | Atende | Atende |

^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.
^b Dados fornecidos pela ABNT NBR 15.220-2 (2005);
^c Dados fornecidos por Leão (2015).

Deve-se salientar que o sistema de fôrmas ICF obteve o melhor desempenho, pois apresentou uma menor transmitância térmica em relação ao bloco cerâmico e ao tijolo cerâmico, respectivamente.

Como a transmitância térmica é dada em função da condutividade e da espessura do material, nota-se que quanto maior a espessura da parede, menor o valor de transmitância térmica. No entanto, apesar de possuir uma espessura de parede menor que a de blocos cerâmicos 14x19x29 cm, a tipologia formada por formas isolantes para concreto (ICF) possui uma maior eficiência em relação à transmitância térmica, reduzindo a transferência de calor para dentro dos ambientes. Sendo assim, o sistema ICF é caracterizado como isolante térmico, o que pode ser explicado por seu baixo coeficiente de condutividade térmica do isopor ($\lambda=0,04\text{W/m.K}$).

Por fim, pôde-se comprovar a eficiência do sistema ICF em relação aos outros componentes de vedação, pois a transmitância térmica do sistema formado por fôrmas de EPS é menor, evitando assim ganhos de calor no ambiente interno, algo que pode influenciar no consumo de energia da edificação.

3.2 Fluxo físico dos processos de produção

Para se comparar os procedimentos de produção da estrutura dos sistemas avaliados, foram identificadas os materiais e atividades necessários para a produção de cada um dos elementos que o compõem. Por meio deste procedimento, conseguiu-se listar os fluxos associados a cada sistema construtivo.

O fluxo físico para a produção dos componentes de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e sistema ICF, podem ser visualizados na Figura 7, Figura 8 e Figura 9, respectivamente.

Ao analisá-los, nota-se a grande quantidade de atividades de fluxos relacionadas à alvenaria convencional, visto que os componentes a serem utilizados na estruturação do sistema de vedação vertical, com exceção dos blocos e do concreto usinado, devem ser fabricados no canteiro de obras.

Em comparação ao fluxo físico da alvenaria convencional, o sistema de vedação vertical em alvenaria estrutural se sobressai, sendo considerado um sistema mais enxuto, pois esta incorporou o sistema estrutural, dispensando a execução dos componentes estruturais, como vigas e pilares. No entanto, ambos os sistemas possuem diversas atividades que não agregam valor ao produto final, já que as atividades de conversão exigem algumas tarefas de inspeção, transporte e estoque, tanto de materiais quanto do componente final, originando atividades que não geram valor ao produto final.

Logo, percebe-se que para a produção de sistema de vedação vertical em alvenaria convencional tem-se 31 atividades que não agregam valor ao produto final e oito atividades que agregam valor, totalizando 39 atividades no processo. Já o sistema de vedação vertical em alvenaria estrutural possui 17 atividades que não agregam valor e 2 que agregam valor, totalizando 19 atividades. Desta forma, o sistema ICF se sobressai como um método mais “enxuto” se comparado aos demais analisados, pois possui apenas dez atividades que não agregam valor e quatro que agregam valor ao produto, obtendo um total de 14 atividades no processo.

Portanto, há uma significativa redução nas atividades presentes no fluxo de produção deste sistema, evidenciando-se que, em relação aos demais sistemas, o sistema ICF garante melhor eficiência segundo a filosofia *Lean Construction*, colaborando com o aumento da eficácia da produção no canteiro de obras.

Figura 7 - Fluxo físico da produção de um elemento em alvenaria convencional.

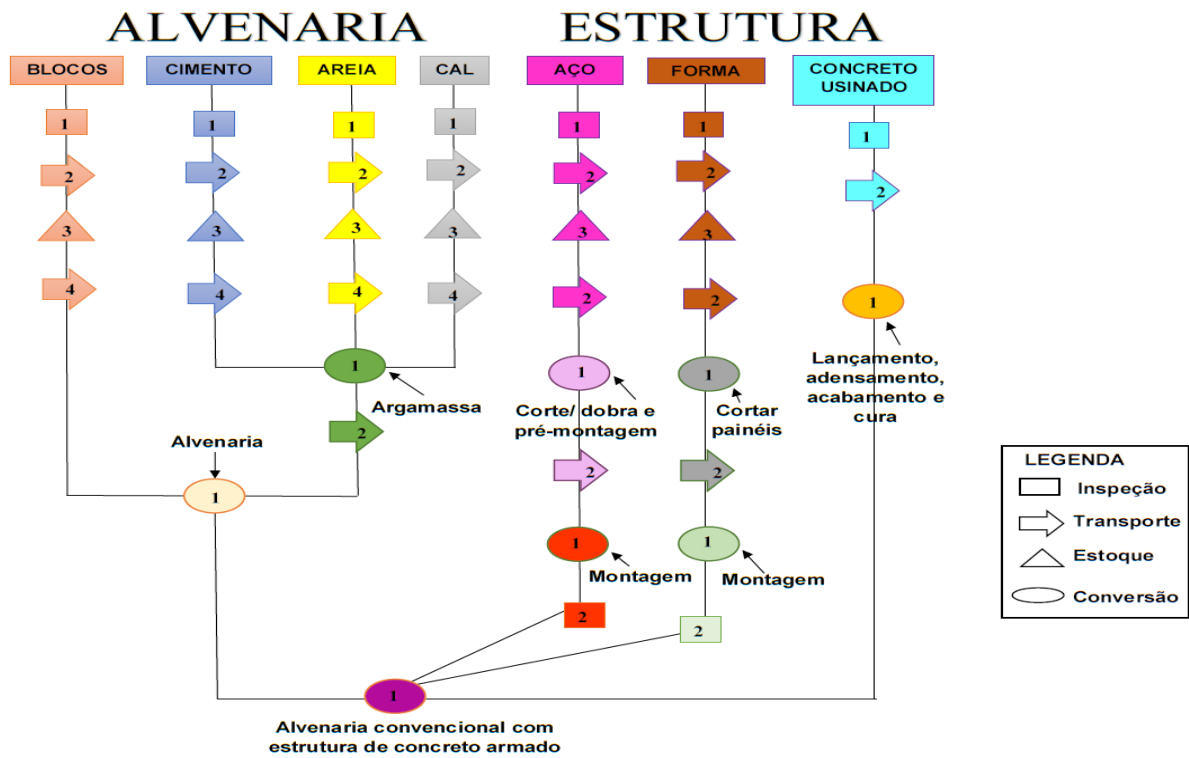


Figura 8 - Fluxo físico da produção de um elemento em alvenaria estrutural.

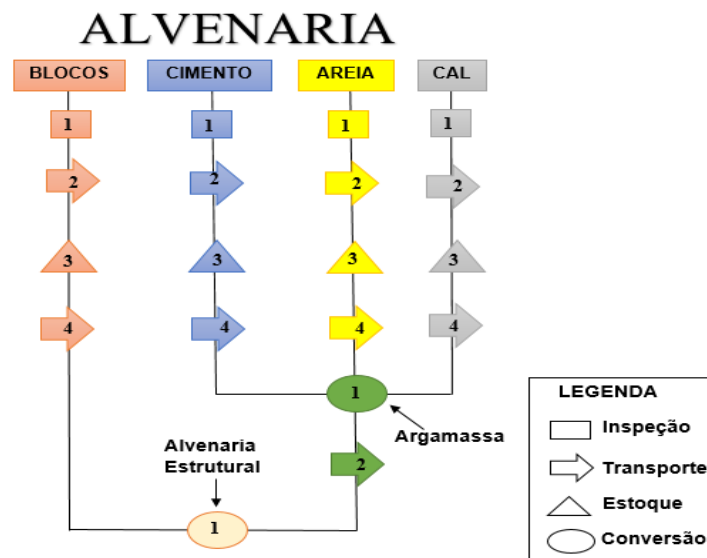
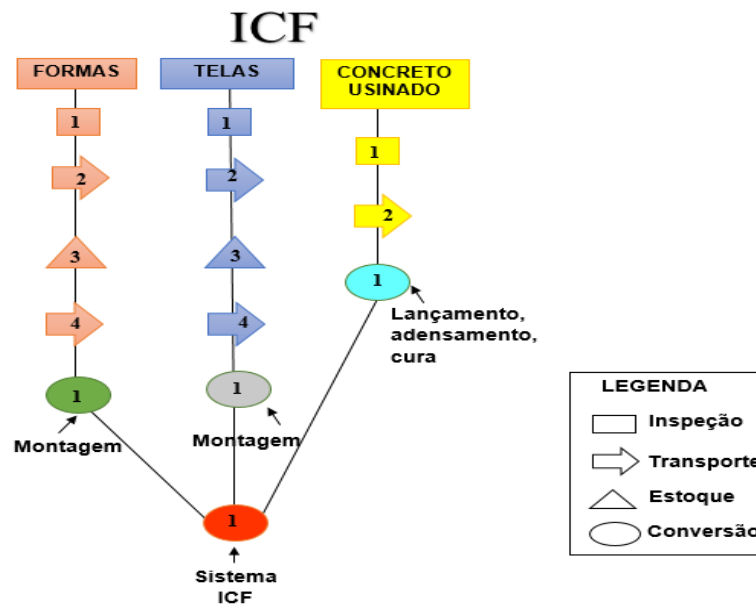


Figura 9 - Fluxo físico da produção de um elemento no sistema ICF



3.3 Orçamentos

Devido ao fato de não existir órgão que disponibilize dados detalhados sobre os custos do sistema ICF, tornou-se necessário o desenvolvimento de uma composição analítica de insumos para a execução da estrutura/vedação, chapisco e reboco por 1 m² de parede utilizando o sistema pesquisado, objetivando a análise de custos da construção da edificação.

Essas composições foram elaboradas segundo dados fornecidos pela ICF Construtora (2015), com base na experiência em canteiros de obra e, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição analítica para a estrutura/vedação e revestimento do sistema ICF

| Descrição | Unidade | Coefficiente |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Estrutura/vedação (m²) | | |
| Fôrmas de EPS 120x30x14cm | unidade | 3,00 |
| Barra de aço CA-50, Ø6,3mm, dobrado e cortado, com 105cm, a ser colocada no posicionamento vertical | barra | 5,00 |
| Barra de aço CA-50, Ø6,3mm, dobrado e cortado, com 105cm, a ser colocada no posicionamento horizontal | barra | 3,00 |
| Presilhas para amarração dos ferros | unidade | 15,00 |
| Concreto classe de resistência C20, com brita 0 e 1, slump=100 +/- 20mm, exclui serviço de bombeamento (NBR 8953) | m ³ | 0,07236 |
| Tela de poliestireno | m ² | 2,16 |
| Pedreiro | h | 0,385 |
| Servente | h | 0,192 |
| Revestimento – Chapisco (m²) | | |
| Cimento Portland composto CP II-32 | kg | 5,0 |
| Areia média – posto jazida/ fornecedor (retirado na jazida, sem transporte) | m ³ | 0,0069 |
| Aditivo para argamassas | m ³ | 0,0002 |
| Pedreiro | h | 0,108 |
| Servente | h | 0,054 |

continua

Tabela 5 – Composição analítica para a estrutura/vedação e revestimento do sistema ICF

| Descrição | Unidade | Coefficiente |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Revestimento – Reboco (m ²) | | |
| Cimento Portland composto CP II-32 | kg | 5,0 |
| Areia média – posto jazida/ fornecedor (retirado na jazida, sem transporte) | m ³ | 0,018 |
| Aditivo para argamassas | m ³ | 0,0002 |
| Vedalite aditivo plastificante | m ³ | 0,000015 |
| Microfibra | kg | 0,012 |
| Pedreiro | h | 1,0 |
| Servente | h | 1,2 |

Na Tabela 6 são apresentados os resumos orçamentários dos sistemas de vedação vertical pesquisados.

Tabela 6 – Resultados dos orçamentos para os métodos construtivos estudados

| Sistemas | Alvenaria Convencional | Alvenaria Estrutural | Sistema ICF |
|----------------|------------------------|----------------------|--------------|
| Superestrutura | R\$11.531,74 | R\$11.258,85 | R\$14.847,05 |
| Vedação | R\$9.054,89 | - | - |
| Revestimentos | R\$10.141,86 | R\$10.141,86 | R\$11.935,70 |
| TOTAL | R\$30.728,49 | R\$21.400,71 | R\$26.782,85 |

A Tabela 7 apresenta um comparativo de custos totais dos métodos considerados.

Tabela 7 - Comparativo de custos totais.

| Sistemas | Custo total | Custo diferencial | Variação (%) |
|------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Alvenaria convencional | R\$30.728,48 | R\$0,00 | 100,0% |
| Alvenaria estrutural | R\$21.400,71 | R\$9.327,77 | -30,35% |
| Sistema ICF | R\$26.782,75 | R\$3.945,73 | -12,84% |

Analisando a Tabela 7, nota-se que o sistema de alvenaria estrutural apresentou menor custo direto dentre os sistemas analisados, enquanto a alvenaria convencional ficou com os maiores custos totais. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2018), Nunes e Junges (2008), Silva (2002), em suas pesquisas.

Destaca-se que o sistema de fôrmas ICF ficou com uma diferença orçamentária de R\$5.382,04 em relação aos valores da alvenaria estrutural, ou seja, a alvenaria estrutural é 20,1% mais barata que o ICF. Observa-se também uma variação relevante entre os valores obtidos para a alvenaria convencional e o sistema ICF, com uma redução de 12,84% no custo total para este sistema, o que equivale a R\$3.945,73.













Essa diferença de valores está relacionada ao fato de que para a alvenaria estrutural e o ICF serem um único sistema desempenha tanto a função de estrutura quanto a de vedação. No entanto, a alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado possui dois sistemas complementares um ao outro, o que aumenta o custo em R\$9.327,77 (30,35%) em relação ao sistema mais barato.

Além disso, deve-se levar em consideração que o preço do sistema ICF se torna mais onerosos devido aos custos do serviço de revestimentos da residência, tanto externos quanto internos, tendo em vista que este método requer o uso de aditivos para a argamassa para melhorar seu desempenho, buscando minimizar a ocorrência de futuras manifestações patológicas.

3.4 Análise comparativa geral

A Tabela 8 apresenta uma síntese com a classificação dos sistemas construtivos, conforme os resultados obtidos nos quesitos avaliados neste estudo.

Tabela 8 - Classificação dos sistemas construtivos quanto aos resultados obtidos

| Sistemas | Desempenho térmico | Fluxo de atividades | Custo |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Alvenaria convencional |  |  |  |
| Alvenaria estrutural |  |  |  |
| Sistema ICF |  |  |  |
| Legenda: |  - Sistema com o maior desempenho  - Sistema com o desempenho intermediário  - Sistema com o menor desempenho | | |

Constata-se que no quesito desempenho térmico e adequação à filosofia da construção enxuta, o sistema ICF se sobressaiu como o sistema com o maior desempenho. No requisito custo orçamentário o sistema que apresentou resultados mais satisfatórios foi a de alvenaria estrutural, seguidos pela alvenaria convencional e sistema ICF. Por último, procedeu-se a comparação dividindo-se o custo pelos benefícios, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise do custo-benefício

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

Portanto, percebe-se que a melhor relação custo-benefício foi a da alvenaria estrutural, seguida do ICF e da alvenaria convencional, nesta ordem.

4. CONCLUSÕES

Com o objetivo de promover o estudo de novos sistemas construtivos e incentivar a racionalização aos canteiros de obra, procurou-se destacar a relevância de três sistemas construtivos disponíveis no mercado. O presente estudo possibilitou a abrangência dos conhecimentos sobre Moldes Isolantes para Concreto (Insulating Concrete Forms - ICF), concluindo que este é um método construtivo viável tanto do ponto de vista de redução dos processos de execução, quanto do desempenho térmico da edificação. Quando comparado ao sistema convencional de vedação vertical em alvenaria e estrutura de concreto armado, o ICF também mostrou-se mais econômico.

Os dados orçamentários demonstraram que o sistema de fôrmas de poliestireno expandido (EPS) apresentou um custo 20,1% mais elevado que o da alvenaria estrutural, mas 12,84% mais barato que o sistema de alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado. No entanto, o critério econômico não é o único a ser levado em consideração na definição do sistema a ser usado.

Na análise do desempenho térmico, a parede com vedação de fôrmas de poliestireno expandido (EPS) apresentou os melhores resultados, atendendo aos requisitos estabelecidos pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Isso se deve, sobretudo, aos baixos índices de transmitância e condutibilidade térmica do EPS, ou seja, na capacidade em deixar o ambiente

mais protegido das mudanças de temperatura externas, o que pode implicar em menores gastos com energia.

Quanto aos processos de produção dos sistemas construtivos, percebe-se que o sistema ICF promove uma significativa redução das atividades que não agregam valor ao produto final, sendo potencialmente mais “enxuto” do que os demais sistemas analisados, um fator interessante em empreendimentos que visam a rapidez de execução, redução de desperdícios e maior racionalização.

A indústria da construção civil tem buscado alternativas construtivas que visem menores custos com maiores vantagens construtivas. Desta forma, visando atender às necessidades do construtor brasileiro, sugere-se a alvenaria estrutural como adequada com uma adequada relação custo-benefício, seguida do ICF e da alvenaria convencional.

5. REFERÊNCIAS

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.

ARXX INC. **ARXX Steel**™. Disponível em: <http://www.arxx.com.br/produtos/2/arxx-steel>>. Acesso em: fev. 2018.

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.

BLAIR, J. **Disadvantages of building with Insulated Concrete Forms**. Disponível em:<<https://www.hunker.com/13401210/disadvantages-of-building-with-insulated-concrete-forms>>. Acesso em: jan. 2018.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DE SANTA CATARINA (COHAB-SC). **Projeto de casa popular 48m²**. Disponível em: <<http://caixahabitacao.com/planta-baixa-de-casas-para-download-projeto-de-casa-popular-48m%C2%B2/>>. 2004. Acesso em: jan. 2018.

Construindo com ICF. Disponível em: <<http://www.fasthouse.eco.br/construindo-sua-casa-com-icf.html>>. Acesso em: set. 2017.

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.

FERREIRA, C. **Novo centro comercial é inaugurado em Cuiabá**. 2012. Disponível em: <<http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/9/materia/358205/t/novo-centro-comercial-e-inaugurado-em-cuiaba>>. Acesso em: set. 2017.

GOUVEIA, H.L.V.; SPOSTO, R.M. Indicadores de custo e desempenho de habitações de interesse social (HIS). Estudo de caso no Distrito Federal e entorno. In: IV Congresso Brasileiro e III Congresso Ibero-Americano de Habitação Social: Ciência e Tecnologia, Inovação e Responsabilidade, 1, v.01, p. 1-11, Florianópolis, 2012. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

ICF CONSTRUTORA. **Conheça o sistema construtivo ICF**. Disponível em: <http://www.icfconstrutora.com.br/sistema-construtivo-icf/conheca-o-sistema>. Acesso em: set. 2017.

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.

ISOCRET. **Galeria - CDHU Bocaina - SP**. Disponível em: <<https://isocret.com.br/galeria/cdhu-bocaina>>. Acesso em: abril, 2018.

ISOCRETO. **Galeria – Igreja Nossa Senhora do Caravaggio**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/isocretdobrasil/3567215068/>>. Acesso em: abril. 2018.

LEÃO, M. **Comunicação técnica do sistema ICF**. Relatório. Sinop, 2 p, 2015.

MANTESI, E. *et al*. The modelling gap: Quantifying the discrepancy in the representation of thermal mass in building simulation. **Building and Environment**. Elsevier Inc, v.131, p.74-98, 2017.

NUNES, C.; JUNGES, E. Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá-MT. **In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Fortaleza, 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1545.pdf>>. Acesso em: abril. 2018.

PIERSON, R. J. **The History of ICFs**. 2011. Disponível em: <http://www.icf-green-building-systems-ga.com/insulating-concrete-forms-green-building-materials-information-georgia/history-of-insulated-concrete-forms.html>. Acesso em: set. 2017.

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.

SILVA, D. B. M et al. Análise comparativa entre alvenaria estrutural e concreto armado. **REMAS - Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde**, v. 7, n. 4, p. 103-118, 2018.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). **Relatório de Insumos e Composições**. Composições. Não desonerado. Mato Grosso. Dezembro. 2017. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_650>. Acesso em: jan. 2018.

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: set. 2018.