

ALVENARIA ESTRUTURAL E MÉTODO 3D: COMPARATIVO DE CUSTO PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Daniela Ramos Barbosa Lima¹

Leomar Rodrigues Meira²

Alexon Braga Dantas³

RESUMO

O artigo tem como objetivo apresentar um estudo comparativo de custo entre a construção por impressora 3D e alvenaria estrutural, pensando na necessidade de diminuir o déficit na construção de habitações de interesse social. Trata-se de um estudo bibliográfico, com abordagem quantitativa, fundamentada em análises feitas em artigos científicos, revistas, livros e documentos disponibilizados pela Caixa Econômica Federal com o intuito de buscar e avaliar as técnicas de construção adotada na problemática da pesquisa. Os principais resultados encontrados demonstraram que 18,5% dos custos com o método construtivo por alvenaria estrutural está relacionada ao revestimento. Levando em conta os métodos adotados foi notório a diferença de custo entre construção por impressora 3D e alvenaria estrutural, na qual a impressão pela ICON e WINSUN chegaram a ter uma redução nos custos de 50% e 39% quanto ao método de alvenaria estrutural, entretanto não foram levados em conta custos como instalação, mão de obra qualificada e aquisição do maquinário, o que não deixa de demonstrar que a aplicabilidade da impressão 3D pode causar mudanças significativas para o setor. Os dados levantados neste artigo podem contribuir com uma melhor visibilidade no sentido de mecanização dos processos construtivos, possibilitando a incrementação de métodos que possam contribuir com a redução de custos na construção de novas moradias. Pode-se afirmar que a utilização de impressoras 3D na construção demonstrou alto potencial de utilização e pode ser uma ferramenta capaz de diminuir os custos financeiros e ambientais, entretanto este pode ser um grande desafio para a construção civil.

Palavras-chaves: Alvenaria estrutural. Impressão 3D. Habitações de Interesse Social.

ABSTRACT

The article aims to present a comparative study of the cost between the construction by 3D printer and structural masonry, considering the need to reduce the deficit in the construction of social housing. This is a bibliographic study, with a quantitative approach, based on analyzes made in scientific articles, magazines, books and documents made available by Caixa Econômica Federal in order to seek and evaluate the construction techniques adopted in the research problem. The main results found demonstrated that 18.5% of the costs with the structural masonry construction method is related to the coating. Taking into account the adopted methods, the difference in cost between construction by 3D printer and structural masonry was notorious, in which the printing by ICON and WINSUN had a reduction in costs of 50% and 39% in relation to the method of structural masonry, however costs such as installation, qualified labor and acquisition of machinery were not taken into account, which shows that the applicability of 3D printing can cause significant changes

1 Engenheira Civil pelo Centro Universitário Católica do Tocantins - UniCatólica – Email: danielarblima123@gmail.com

2 Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica – Email: leomarrodriquesmeira@gmail.com

3 Engenheiro Civil, Professor Mestre, do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica – Email: alexon.dantas@catolica-to.edu.br

for the sector. Therefore, the data collected in this article can contribute to a better visibility in the sense of mechanization of the construction processes, enabling the increase of methods that can contribute with the reduction of costs in the construction of new houses. Thus, the use of 3D printers in construction has demonstrated a high potential for use and can be a tool capable of reducing financial and environmental costs, however this can be a great challenge for civil construction.

Keywords: Structural masonry. 3D printing. Social Interest Housing.

1 INTRODUÇÃO

Para o processo evolutivo, a área de construção civil é considerada uma das mais influentes em questão de desenvolvimento e organização da sociedade, pode-se observar que o setor possibilita o crescimento do país, pois possui ampla capacidade de geração de empregos diretos e indiretos no mercado de trabalho (JARDIM, 215). O termo construção civil, ao ser mencionado em um contexto, já remete à produção de casas e prédios e quando indagamos a respeito da realização desses projetos, deparamo-nos com o padrão: tijolos e concreto armado (MALAQUIAS, 2018). Desde a antiguidade, o homem já construía sua casa com que encontrava em volta. Entretanto o processo de evolução tem sido constante, como percebe-se na forma de construir, usando diferentes tipos de materiais, tanto pelo custo ou quanto pela adequação às questões de materiais mais sustentáveis (COSTA et al., 2017; STEEL FRAME, 2017).

A indústria da construção civil vem buscando desenvolver e empregar tecnologias eficientes na construção de habitações e moradias, em conjunto com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente, visando aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e o custo (COSTA et al., 2017; PORTO, 2016). Neste sentido, devido à vasta opção de sistemas construtivos, a construção com alvenaria estrutural tem tido destaque na estruturação de habitações sociais no Brasil. Isso ocorre devido às vantagens apresentadas pelos autores Roman et al. (1999), como por exemplo, a economia de aço, concretos e formas quando comparadas com as edificações construídas tradicionalmente com concreto armado.

As alvenarias na construção vem sendo empregada desde muito tempo, como forma estrutural de suporte, que segundo Borba (2018), tem sido aplicado em larga escala em produção de conjuntos habitacionais por possibilitar uma redução nos custos de produção quando comparado a outros métodos. Além de proporcionar benefícios como durabilidade, resistência a agentes agressivos, resistência à ação do fogo, incombustibilidade, isolante térmico, boa estanqueidade, possibilidade de ser composta de diversas formas, reaproveitável e ótima aceitação pela sociedade (RODRIGUES, 2013).

Segundo Takagaki (2012), outro método que vem se destacando timidamente nos últimos tempos é a impressão de casas 3D. Método ainda pouco difundido no Brasil, no entanto demonstra grandes vantagens, pois possibilita a utilização de diversos materiais como cera, polietileno, nylon, cerâmica, terra, resíduos reciclados, provenientes de construções executadas de forma tradicional,

demolições, aço inoxidável, titânio, alumínio, plásticos de engenharia como ABS e PLA (TAKAGAKI, 2012; PORTO, 2016). Além disso, essa tecnologia baseada em computador digital pode imprimir rapidamente materiais de construção, camada por camada, trazendo vantagens como, alta eficiência, baixo custo e proteção ambiental (JI et al., 2019).

Deste modo, devido à grande variedade de métodos e da necessidade de construção de habitações de interesse social, este estudo propõe responder, através da análise comparativa, de que forma a aplicação de alvenaria estrutura e método 3D pode influenciar nos custos para construção de habitações de interesse social? Objetiva avaliar a viabilidade da utilização desses métodos comparando os custos, pensando na necessidade de diminuir o déficit na construção de habitações de interesse social.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Em 1946, surgiu o primeiro programa habitacional no Brasil, durante o governo de Eurico Gaspar Dutra e se estendeu até a década de 1960, conhecido como Fundação de Casas Popular (FCP), ao qual não obteve muito êxito devido ao beneficiamento apenas das famílias mais próximas aos políticos (CORRÊA, 2019). Desde então, muitos programas foram criados, no entanto sem êxito. Já entre os anos de 1986 e 2003 surgiram os programas financiados pela Caixa Econômica apoiado por outras entidades, desde então o termo habitação popular ou habitação de interesse social (HIS) tem sido enredado em estudos que buscam solucionar a carência de moradia voltada a população de baixa renda (SOUSA, 2019).

As HIS têm implicações relevantes no desenvolvimento das cidades e na qualidade de vida proporcionada aos seus cidadãos. Entretanto, para que haja bons resultados, é necessária uma boa relação entre usuário e produto oferecido no âmbito dos programas habitacionais (BONATTO et al., 2011). Os autores Monteiro e Veras (2017) relatam que *déficit* de habitação no Brasil é uma problemática antiga e isso ocorre devido à distribuição desigual de renda, além das condições de comercialização e da produção de moradias, que impõem um alto valor nas moradias.

O crescimento atual do *déficit* brasileiro está na ordem de 7 milhões de moradias, sendo que deste, aproximadamente 80% está atrelado à população com renda de até três salários mínimos (OLIVEIRA et al., 2017). Em consequência disso, casas são construídas em grandes proporções sem nenhum planejamento, em locais irregulares sem acesso à infraestrutura.

Deste modo, fica explícita a desigualdade social. Logo, pessoas sem acesso às áreas regulares para construir suas residências geralmente por questões econômicas buscam, de qualquer forma, construir uma proteção teoricamente segura nas áreas irregulares (ROGOSKI, 2018). Uma alternativa para a resolução desta problemática habitacional, tem sido as HIS (habitação de interesse social),

pois se diferenciam das demais habitações, ao qual busca minimizar custos, tornando o projeto o mais simples possível (CECCHETTO et al., 2015).

O mesmo autor discorre ainda que as HIS têm como principal função a readequação das famílias que moravam em lugares irregulares. Assim, fica à cargo do poder público a construção desses loteamentos, garantindo o conforto e segurança, de modo a melhorar a qualidade de vida dos usuários. Santos (2011) conceitua HIS como uma construção não voltada apenas para população de baixa renda “um produto”, mas sim como um projeto que implica técnicas e processos que possam diminuir custos sem perder a qualidade, além de suprir as necessidades dos moradores.

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL

O método construtivo com alvenaria estrutural destaca-se pelo conceito de racionalização, organização e simplicidade na construção, que vem sendo utilizada desde a antiguidade, e ainda hoje permanece como uma alternativa para a construção de vários tipos de obras (NETO et al., 2015; MASO, 2017). Tauil e Nese (2010), descrevem a alvenaria estrutural como um conjunto de peças justapostas que devem se unidas com argamassa para a uma estruturação coesa, que deve ser firme e resistente às forças aplicadas pela própria carga de uso, além de desempenhar o papel de vedação, isolante térmico-acústico, proteção contra o fogo, entre outros.

O seu surgimento no Brasil ocorreu no final da década de 1960 com a construção dos primeiros edifícios com 4 pavimentos em São Paulo, e atualmente vem sendo uma técnica bastante executada devido à possibilidade de redução de custos em cerca de 25% a 30%, o que levou à adoção deste método construtivo para obras de programas habitacionais (SÁNCHEZ, 2013 e MOHAMAD et al., 2014). Maso (2017), destaca ainda que a alvenaria estrutural não se enquadra apenas como uma opção para construções de HIS, onde é utilizado em sua grande maioria, mas sim uma solução mais barata, rápida e racionalizada quando comparada aos métodos construtivos de concreto armado, podendo também ser utilizada em edificações de alto padrão.

Alguns especialistas consideram que paredes feitas alvenaria estrutural não apresentam nenhuma diferença estética, oferecem o mesmo conforto térmico e acústico não ficando atrás em relação a resistência térmica (MOREIRA, 2013;). Cotta et al. (2013) ressaltam que, mesmo existindo um preconceito quando o assunto é qualidade, a alvenaria estrutural atende a este critério, e não é só por não ter vigas que a construção vai cair.

2.2.1 Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural possui vantagens em termos econômicos, como na redução de custos, menor diversidade de materiais empregados, maior rapidez de execução, dentre outras (CAMACHO, 2006). Os autores Ramalho e Corrêa (2003), destacam ainda que outra vantagem está relacionada à redução do número de profissionais da área de carpintaria, armaduras e montagens, vale ressaltar

também o menor desperdício de materiais que pode resultar também na minimização de imprevistos. Além disso, a alvenaria estrutural possui maior produtividade quando comparada à execução de estruturas em concreto armado convencional, podendo ser até duas vezes menor que o prazo de duração de uma obra em concreto armado (HOFMANN et al., 2012).

E quanto às desvantagens dentre elas estão, a restrição arquitetônica, pois devido às próprias paredes serem os sistemas de estrutura, não são permitidas mudanças futuras, ou mesmo arranjos arquitetônicos variados. Além disso, ela não permite reformas, grandes vãos livres e não admite improvisos (BISPO, 2018).

2.3 IMPRESSÃO 3D

Acredita-se que uma nova Revolução Industrial teve início, pois a popularização das impressoras 3D está alterando o modo de produção, já que com ela pode-se confeccionar objetos sólidos em três dimensões baseados em um desenho projetado no computador. Ou seja, trata-se de uma micro fábrica que possibilita a criação de produtos personalizados por um menor custo, menor prazo e com menos desperdício (ANDERSON, 2012).

A produção controlada por meio de computadores na impressão 3D, tem capacidade de produzir em escalas pequenas como na bioengenharia ou até grandes escalas como é o caso da construção civil (ANDERSON, 2012). Além disso, oferece uma gama de materiais que podem ser usados para impressão, tais como: cera, polietileno, nylon, cerâmica, terra, resíduos reciclados, aço inoxidável, titânio, alumínio, plásticos de engenharia como ABS e PLA (TAKAGAKI, 2012; PORTO, 2016). Poucas tecnologias oferecem tal versatilidade, a impressão 3D possibilita uma maior dinâmica no design das peças, uma vez que produz modelos nas mais variadas formas (ARAÚJO, 2016).

Wohlers e Gornet (2014) destacam que essa tecnologia surgiu em 1987, quando foi lançada pela 3DSystems, mediante uma tecnologia chamada esterolitografia, que consiste na solidificação de uma resina líquida por meio de um laser ultravioleta. Naquela época, o uso dessa tecnologia era quase que exclusivamente para visualizar modelos antes da produção. Desde então, a tecnologia começou a evoluir, possibilitando novas aplicações em diversos ramos, bem como na engenharia, medicina, arquitetura e outros (ARAÚJO, 2016).

2.3.1 Tecnologia 3D na construção civil

Mesmo nos tempos modernos, a construção civil ainda adota práticas construtivas artesanais que dependem da mão de obra humana na grande parte do processo. Entretanto, a impressão 3D está se alinhando à indústria 4.0, no sentido da mecanização dos processos construtivos mais eficientes (MAIA e SOUZA, 2018). A organização sem fins lucrativos New Story em parceria com a ICON, empresa provedora de tecnologias voltadas para a construção civil, construíram o primeiro protótipo de casa utilizando a tecnologia de impressão 3D.

A impressora foi projetada com o intuito de reduzir o déficit habitacional mundial, na Figura 1A esta ilustrada a impressora Vulcan que utiliza a técnica de *Contour Crafting* (NEW STORY, 2017).

Figura 1- Protótipo da impressora Vulcan da ICON (A), Impressão 3D da casa, com uma argamassa especial de alta resistência (B), Casa impressa em 3D, no canteiro de obras.



Fonte: ICON, 2017.

O primeiro protótipo foi construído inteiramente com uma argamassa especial de alta resistência, que demorou em torno de 24 horas para a conclusão da impressão (Figura 1B). Ainda, segundo a ICON, a casa impressa em 3D (Figura 1C) pode ter uma durabilidade igual ou maior que as casas construídas por alvenaria (ICON, 2017).

Florêncio et al. (2016); Maia e Souza (2018) destacam que esse processo se difere drasticamente dos métodos construtivos utilizados até hoje, pois trata-se também de uma possibilidade de evolução no processo de edificação em sua totalidade. Podendo afirmar que é possível “imprimir” uma edificação, como por exemplo o desenvolvimento da impressão em concreto, que vem gerando resultados promissores, não apenas no cenário de obras, mas sim em diversos aspectos do processo competitivo.

Segundo Khoshnevis (2012), “aumentando a escala das impressoras 3D convencionais, espera-se construir bairros inteiros de moradias dignas, utilizando uma fração do custo e do tempo em um ambiente muito mais seguro e oferecendo uma flexibilidade formal sem precedentes”.

A impressão 3D promete uma série de benefícios econômicos, para a sociedade e meio ambiente, trazendo algumas vantagens em relação ao processo construtivo convencional, tais como: redução de custos e de tempo da obra, precisão da execução, liberdade projetual, redução do impacto ambiental, otimização do processo de gerenciamento de projetos e obras, logística, possibilidade de redução do déficit habitacional (FLORÊNCIO et al., 2016).

2.3.2 Utilização de impressora 3D para produção de unidades habitacionais populares

A China foi a pioneira no projeto de utilização da impressão 3D para a construção de casas, prédios e escritórios, utilizando o método de *Contour Crafting*, a empresa WINSUN destaca que, para esse processo necessita-se de apenas 3 funcionários. Nesse processo, utiliza-se uma impressora fixa

na fábrica, na qual cada detalhe é impresso e só depois transportado para a obra (WINSUN, 2018). Pensando na maior eficiência do processo construtivo e na redução dos custos com transporte a empresa Huashang Tengda de Pequim criou um processo de impressão no local, que levou cerca de 45 dias para o fim da obra (PORTO, 2016).

Atualmente, essas impressoras já vêm sendo projetadas para que o tempo de construção seja ainda menor, como é o caso da impressora Vulcan, já citada anteriormente que pode levar cerca de 24 horas para a impressão de uma casa que varia de 56 a 74 m². A empresa responsável pelo projeto da Vulcan destacou que essa tecnologia pode vir a ser uma grande aliada na redução do déficit habitacional no mundo (ICON, 2017).

No Brasil esse processo ainda é embrionário, entretanto a startup Inovahouse3D em conjunto com a Universidade Federal de Brasília - UNB é a primeira a estudar a aplicação de manufatura dentro do setor da construção civil. Em 2016, a empresa desenvolveu um protótipo do que viria a ser a impressora.

Além disso, a empresa destaca que esse projeto tem como prioridade facilitar o acesso a moradias de baixo custo, tendo em vista que, no Brasil, o déficit habitacional é crescente. O intuito é de gerar um impacto holístico sobre as questões ambientais, e acredita-se que a racionalização de materiais e, conseqüentemente, a redução de resíduos gerados pode ser um dos grandes feitos deste projeto (INOVAHOUSE3D, 2019). Ainda não foi construída nenhuma casa por impressão 3D no Brasil, entretanto acredita-se que em 2020, com o projeto Habita-se, a startup Inovahouse3D consiga colocar em prática o projeto que vem sendo estudado desde 2015.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada, pode ser definida como uma pesquisa bibliográfica, quantitativa, pois exigiu a determinação de variáveis após a delimitação da hipótese central que norteiam o estudo. Esse tipo de abordagem é objetiva, pontual e estruturada, ao qual exige instrumentos adequados para coleta de dados e uma intensa análise das variáveis traçadas pela dedução científica para a obtenção dos resultados (MURARO e CICHELERO, 2017). Por se tratar de um estudo comparativo entre dois métodos construtivos, as variáveis independentes estudadas foram os dois métodos (Alvenaria estrutural e construção por impressão 3D), nas quais cada uma constitui uma variável.

A variável dependente foi definida precisamente, como, valor final de cada método construtivo. A pesquisa bibliográfica está fundamentada em análises feitas em artigos científicos, revistas, livros e documentos disponibilizados pela Caixa Econômica Federal com o intuito de buscar e avaliar as técnicas de construção adotadas na problemática da pesquisa.

Inicialmente, foram coletados dados que permitiram um embasamento científico para a pesquisa, em sequência foi utilizado um projeto básico de uma casa térrea, disponibilizada no Banco de Projetos no site da Caixa Econômica Federal, e dados disponíveis no SINAPI referentes à

fevereiro de 2020 para o estado do Tocantins, considerando os encargos sociais não desonerados. Por fim, foram elaborados os orçamentos referentes à construção de uma casa térrea de 34m² de área construída.

4. RESULTADOS

Para a análise comparativa dos custos entre os dois sistemas, alvenaria estrutural e construção por impressão 3D, foram adotados como base de pesquisa o projeto disponibilizado pela Caixa Econômica Federal. Foi elaborada uma planilha orçamentaria no programa Excel referente à unidade, para que fosse possível obter a comparação entre dos dois sistemas construtivos estudados. No que se refere aos custos indiretos com a aquisição de impressoras e depreciação, não foram considerados por falta de dados disponíveis na literatura. Somente será considerado o custo por metro quadrado.

4.1 SIMULAÇÃO DE CUSTO GERAL DA OBRA UTILIZANDO O SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL

O custo relacionados à construção de uma habitação popular considerando a área construída de 34 m², em alvenaria estrutural, estão apresentados na Tabela1. Desta forma, foi considerado o Relatório de Insumos e Composições para o estado Tocantins, referente ao mês de fevereiro de 2020, com encargos sociais não desonerados.

Tabela 1- Custo do sistema construtivo em alvenaria estrutural, baseado nos dados do SINAP para o estado do Tocantins no ano de 2020.

ITEM	DESCRIÇÃO	CUSTO R\$
1	Paredes	1454,93
2	Fundação e Laje	3578,78
3	Esquadrias	3108,70
4	Revestimento	4949,60
5	Pavimentação	2248,39
6	Pintura	3706,58
7	Cobertura	3322,73
8	Instalações hidráulicas e sanitárias	876,48
9	Instalações elétricas, tomadas e iluminações	2074,17
10	Outros Gastos	1456,58
11	Custo Total	26.698,59

Fonte: AUTOR, 2020.

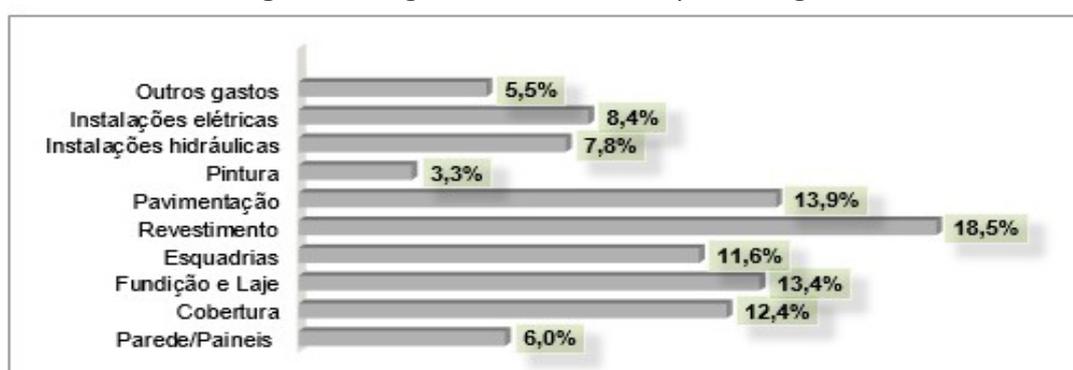
Baseado nos dados disponíveis na Tabela 1, pode-se observar que o valor obtido para o projeto avaliado foi de R\$785,25 por m² valor que corrobora com dados disponíveis na plataforma do IBGE

referente ao mês de março do ano de 2020 para uma casa popular, CP.1-2Q com 1 pavimento, varanda, sala, 2 quartos, circulação, banheiro e cozinha.

Segundo IBGE (2020), o custo do projeto por m² pode ter o padrão de acabamento definido em três tipos, como, padrão normal, com valor de R\$1.177,27 por m²; padrão baixo, com valor de R\$825,81 por m² e padrão mínimo, com valor de R\$717,90 por m². Jesus e Barreto (2018) ao avaliarem o custo de um projeto de cerca de 42 m² produzido com alvenaria estrutural, obtiveram um valor de R\$509,54 por m², dado este muito inferior ao descrito nesta pesquisa. Isto pode ser justificado devido aos valores disponíveis no relatório de insumos e composição disponibilizados para o estado ao qual se desenvolveu a pesquisa.

Na Figura 5, referente à porcentagem de gasto, observa-se que a despesa maior está relacionada ao revestimento que representa 18,5% do custo deste processo construtivo.

Figura 2- Diagrama de Custos em porcentagem.



Fonte: AUTOR, 2020.

Em estudo realizado por Moraes (2018), o autor observou uma porcentagem maior no custo da construção de vigas e pilares no processo construtivo de alvenaria convencional. Deste modo, observa-se que a redução do custo de uma construção em alvenaria estrutural pode estar ligada ao fato de não possuir vigas e pilares. O processo construtivo em alvenaria estrutural estudado por Jesus e Barreto (2018), mostrou-se satisfatório não somente quanto ao custo quando comparado a alvenaria convencional e sistema ICF, mas também em relação ao desempenho térmico e fluxo de atividade, demonstrando uma melhor relação custo-benefício.

4.2 SIMULAÇÃO DE CUSTO DE OBRA UTILIZANDO O SISTEMA CONSTRUÇÃO POR IMPRESSÃO 3D

Para o cálculo dos custos da construção por impressão 3D, foram considerados dados de uma habitação popular do tipo CP.1-2Q com 1 pavimento, varanda, sala, 2 quartos, circulação, banheiro e cozinha, construída no estado do Tocantins, com os valores referentes ao custo de projeto por m², desconsiderando as fundações, por tipo de projeto e padrão de acabamento aos dados publicados

pelo IBGE, no mês de dezembro de 2020. E para os dados de conversão da moeda, foi considerado o câmbio referente ao dia da pesquisa, no mês de março de 2020 (Tabela2).

No processo construtivo, utilizando impressão 3D os materiais empregados podem ser o grande diferencial, em alguns casos utiliza-se uma mistura de concreto ou resíduos de demolição de construções, concentrando pouca mão de obra, o que contribui para a redução dos custos. Quanto aos valores referentes à instalação da impressora e mão de obra fixa, não se tem dados referente ao custo na literatura. Neste sentido, os subsídios utilizados na pesquisa estão disponíveis na Tabela 2 referentes as tecnologias, WINSUN, ICON e APIS COR, a tabela resume os dados de qualidade, custo e eficiência.

Tabela 2- Cotação do Dólar frente ao Real e resumo qualitativo das principais tecnologias adotadas.

VARIAÇÃO DA MOEDA			
Cotação do Dólar (22 de abril de 2020)			5,40
Técnica para impressão em 3D	Acabamento da Obra	Custo Operacional	Produtividade
WINSUN	Padrão	4800 Dólares	Em torno de 2,34 m ² /hora
ICON	Padrão	4000 Dólares	Em torno de 1,65 m ² /hora
APIS COR	Alto	10134 Dólares	Em torno de 1,58 m ² /hora

Fonte: BANCO CENTRAL, 2020; QUEIROGA, 2019 e APIS COR, 2017.

Observa-se na Tabela 2 que a impressão realizada pela WINSUN apresenta maior produtividade, com acabamento considerado bom, por um preço bastante acessível. Em seguida, a ICON apresenta bons resultados em relação ao custo operacional, entretanto a produtividade é mais baixa. Ainda assim as duas empresas já construíram protótipos de casas que tiveram uma duração no processo construtivo em torno de 24 horas. Existe a possibilidade destas empresas imprimirem estruturas de casas populares em um tempo mais reduzido quando comparado à construção por alvenaria, além disso a aprovação desta tecnologia para o setor pode ser um divisor de águas. Avalia-se que a diferença está ligada tanto ao custo, quanto à eficiência de cada uma.

Na Tabela 3, estão dispostos os resultados em relação aos gastos, em reais, para a construção de uma habitação de interesse social.

Tabela 3- Valores de projeto considerando uma casa no padrão de uma casa popular.

BASE DE DADOS, ANO	CUSTO POR m ² R\$	ÁREA CONSTRUIDA m ²	CUSTO TOTAL R\$
WINSUN (2014)	471,27	34	16.023,27
ICON (2018)	385,32	34	13.100,90
APIS COR (2017)	1440,07	34	48.962,68

Fonte: AUTOR, 2020.

Com base nos resultados obtidos após a conversão dos valores para a moeda brasileira, pode-se avaliar que a metodologia aplicada pela ICON, com a impressora Vulcan mostrou-se mais econômica

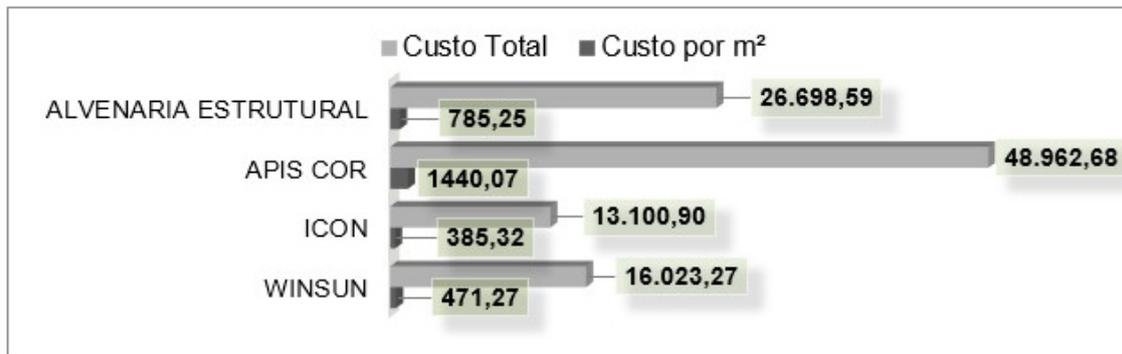
em relação a valores construtivos, além disso a impressora Vulcan apresenta vantagens como a impressão de uma casa em até 24 horas, no próprio canteiro de obras (ICON, 2018). Entretanto, valores mais elevados foram observados para casa construídas pela empresa APIS COR, na qual utiliza uma mistura de concreto, que imita a parede de CMU, o pode justificar o valor mais elevado. Além disso, a empresa APIS COR discorre que a construção por impressão 3D chega a ser 2 vezes mais barata em comparação com a construção em alvenaria, com a expectativa de vida útil que se equipara às demais (APIS COR, 2017).

O que pode ser de grande valia para a redução do déficit habitacional do país que chega a 7,7 milhões de moradias, de acordo com Fundação João Pinheiro (2018), tendo em vista que a maior parte do déficit habitacional brasileiro está relacionada à renda da população. Desde 2009, esse déficit teve um aumento expressivo, e para que haja uma redução deste quadro a aplicação desse sistema construtivo pode ser um avanço para a construção civil.

4.3 COMPARATIVO DE CUSTO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS POR IMPRESSÃO 3D E O MÉTODO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

As tecnologias por impressão 3D possuem muitas semelhanças no processo de impressão, baseadas em fabricação aditiva, sendo executada camada por camada, entretanto cada uma delas possui características distintas, o que pode vir a interferir no custo final. Como pode-se observar, a impressora APIS COR, apresentou custo mais elevado, já em termos de tempo de processo, a mesma pode se destacar em relação ao método construtivo por alvenaria convencional. Além disso, o método 3D possui uma grande vantagem de processamento, ao contrário do trabalho humano, que não se pode precisar com exatidão, já o método 3D pode ser previamente calculado e previsto, podendo efetuar um planejamento mais próximo da realidade (LOPES, 2016). Outra vantagem também levantada está relacionada à redução de desperdício, uma vez que este método utiliza apenas a quantidade de material requisitado pelo projeto, além disso pode ocorrer o reaproveitamento de materiais nas fases posteriores a construção.

Figura 3- Comparativo dos valores simulados para a construção de uma casa considerando uma área construída de 34m².



Fonte: AUTOR, 2020.

Levando em conta as metodologias adotadas pelas impressoras ICON e WINSUN, evidenciadas na Figura 3, verifica-se que há uma grande diferença de custo entre os métodos construtivos, pode-se avaliar que a diferença de valor do método por impressão 3D com a ICON chega a ser 50% mais baixo, e com impressora WINSUN o custo reduziu em 39% quando comparado ao método por alvenaria estrutural, ratificando que a escolha do método construtivo torna-se cada vez mais influente no que tange à redução de custos. Entretanto, ao se comparar a impressão 3D com a alvenaria estrutural ou outro método convencional, é possível observar que existe uma racionalização de custos devido ao uso de materiais recicláveis e redução da mão-de-obra, além de outros fatores como maior previsibilidade, menor riscos de acidentes e diminuição do impacto ambiental.

Porém, as desvantagens na comparação são, alto investimento de capital inicial para o estabelecimento de um maquinário de impressão 3D em concreto, além disso a ausência de mão obra qualificada atua como empecilho de mercado devido ao papel fundamental que esses trabalhadores desempenham durante a execução da obra. Outro ponto a ser levado em conta é a logística de instalação no canteiro de obras, pois exige um alto investimento em estrutura de apoio, transporte e armazenamento. Laubier et al. (2018) destacam que a impressão 3D ainda não pode competir com o pré-fabricado, em relação a preço e resistência estrutural.

Porém, a construção por impressão 3D não deixa de mostrar que sua aplicabilidade pode causar mudanças significativas para o setor da construção civil. Lopes (2016) destaca que impressão 3D de casas possibilita a adoção de novas técnicas construtivas que podem representar uma grande oportunidade de explorar e testar novos materiais, mais baratos e com características sustentáveis.

Essa tecnologia já está se tornando uma realidade, tanto na construção de pequenas casa, edifícios e habitações de interesse social. Entretanto, poucos dados estão disponíveis na literatura, no que se refere a este quesito, mas já se tem o suficiente para ter uma ideia de que existe a possibilidade de maior ganho de tempo e, conseqüentemente, maior velocidade na produção o que pode influenciar na redução de custos.

É possível observar também que as técnicas de impressão 3D são de interesse global. Segundo

Grenzel (2019), as tecnologias mais desenvolvidas são encontradas em três países de continentes distintos: Estado Unidos, China e Itália.

CONCLUSÃO

A economia brasileira ainda passa por momento de fragilidade e fica cada vez mais evidente a necessidade da redução de gastos no setor da construção civil. No Brasil, o déficit habitacional teve um crescimento significativo, o que está relacionado à renda da população e, conseqüentemente, ao valor ligado a cada serviço, que tem um peso expressivo na construção de moradias. Os dados levantados nesta pesquisa podem contribuir com uma melhor visibilidade no sentido de mecanização dos processos construtivos, possibilitando a incrementação de métodos que possam contribuir com a redução de custos na construção de novas moradias.

A utilização de impressoras 3D na construção de habitações de interesse social demonstrou alto potencial de utilização e pode ser uma ferramenta capaz de diminuir os custos financeiros e ambientais. Entretanto, este pode ser um grande desafio para a construção civil, uma vez que as máquinas oferecem mudanças significativas e uma ampla gama de benefícios, necessitando caminhar até atingir um patamar ideal para aplicação no setor, como implementação, treinamento de mão de obra, logística e manutenção. Além disso, o desenvolvimento tecnológico da manufatura avançada, necessita da criação de incentivos, fomentos e estratégias inteligentes de políticas governamentais, para que possibilite um maior impulsionamento ao setor de inovação, favorecendo todas as áreas da cadeia produtiva da construção civil, desde os fornecedores de material até o consumidor final.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, Chris. **Makers A Nova Revolução Industrial**. Elsevier Brasil, 2012.

APIS COR, 2017. Disponível em:< <https://www.apis-cor.com/>> Acesso em: 18 de abril de 2020.

ARAÚJO, G. G. de. **A Impressão 3D e os Parâmetros que Influenciam o Produto Final**. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Dólar comercial (venda e compra)** - cotações diárias. Disponível em:<<https://dadosabertos.bcb.gov.br/dataset/dolar-americano-usd-todos-os-boletins-diarios> . Acesso em: 22 abr. 2020.

BISPO, L. S. R. **Projeto de alvenaria estrutural-analise de um projeto em alvenaria residencial unifamiliar**. 105f. Monografia (Graduação em Engenharia civil) – Curso de Engenharia Civil, UniEvangelica. Anápolis-GO, 2018.

BONATTO, F. S.; MIRON, L. I. G.; FORMOSO, C. T. Avaliação de empreendimentos habitacionais de

interesse social com base na hierarquia de valor percebido pelo usuário. **Ambient. constr. (Online)**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 67-83, março, 2011.

BORBA, F. L.; MESQUITA F., NILO S. de. **Estudo comparativo de análise de custos de uma residência utilizando o sistema de alvenaria estrutural e o sistema construtivo light steel frame para a região de Anápolis**. 69p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, Goiás 2018.

CAMACHO, J. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. In: **Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural**. Anais. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2006.

CECCHETTO, C. T. et al. Habitação de Interesse Social: Alternativas Sustentáveis. **Revista Gedecon**. vol 3. UNICRUZ. Cruz Alta – RS. 2015.

CORRÊA, A. O. **Políticas habitacionais em Codó-MA: o programa Minha Casa Minha Vida (2009-2019)**. 83f. Monografia (Graduação em Historia) – Universidade Federal do Maranhão, campus VII, Curso de Ciências Humanas, Codó, Maranhão, 2019.

COSTA, F. F.; MENDONÇA, K. P. L.; MENDONÇA, J. C. Uso De Geossintéticos Em Obras Civis: Uma Justificativa De Relevância Da Aplicação. **Revista Integralização Universitária**, n. 16, 2017.

COTTA, R. M. M. et al. Pobreza, injustiça, e desigualdade social: repensando a formação de profissionais de saúde. **Revista Brasileira de Educação Médica**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 3, p. 278-286, 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, **SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 25 de maio 2020.

FLORÊNCIO, E. Q.; QUINTELLA, I. P. C. P.; FERREIRASEGUNDO, D. B. O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura. **Blucher Design Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 305-309, 2016.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil, 2015**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018. Disponível em:< <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/verDocumento.php?iCodigo=76871&codUsuario=0>>Acesso em: 15 de abril de 2020.

GRENZEL, L. Y. S. **Estudo das técnicas de fabricação aditiva (impressão 3d) e da sua aplicação na construção civil**, 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2019.

HOFMANN, L. G; BRESSIANI, L.; FURLAN, G. C; THOMAZ, W. A. **Alvenaria Estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional**. III Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana. Artigo. MARINGÁ, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em :< <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/647>> Acesso em: 27 de maio de 2020.

INOVAHOUSE3D, 2019. Disponível em: <<http://inovahouse3d.com.br> > Acesso em: 20 de abril 2020.

JARDIM, M. C. A construção social do mercado de trabalho no setor de construção civil nas obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): consensos e conflitos. **Sociedade e Estado**, v. 30, n. 1, p. 165-187, 2015.

JESUS, A. C. T.; BARRETO, M. F. F. M. Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf). **E&S Engineering and Science**, v. 7, n. 3, p. 12-27, 2018.

Jl, G. et al. A 3D Printed Ready-Mixed Concrete Power Distribution Substation: Materials and Construction Technology. **Materials**, v. 12, n. 9, p. 1540, 2019.

KHOSHNEVIS, B. Contour Crafting: **Automated Construction**: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai, 2012. Disponível em:< <https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>> Acesso em 19 set. 2019.

LAUBIER, R. D. et al. Will 3D printing remodel the construction industry? **Site do Boston Consulting Group**, 2018. Disponível em:< <https://www.bcg.com/publications/2018/will-3d-printing-remodel-constructionindustry.aspx>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

LOPES, G. T. F. **Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção**, 92f. Dissertação de Mestrado (Faculdade de Engenharia) - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM ÁREA CIENTÍFICA, Portugal, 2016.

MAIA, M. G.; SOUZA, R. B. Compósito cimentício para impressão 3D. **VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**, São Bernardo do Campo – 2018.

MALAQUIAS, J. L. F. **Containers na construção civil**: uma alternativa viável para habitações frente ao método convencional. 68f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

MASO, J. B. **Análise comparativa entre o sistema construtivo light steel framing e alvenaria estrutural**. 155f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - curso de Engenharia civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, SC 2017.

MOHAMED, G. **Construções em alvenaria estrutural**: materiais, projeto e desempenho. São Paulo. Ed. Blucher, 2015.

MORAES, B. D. **Comparação de custos de unidades habitacionais de interesse social produzidas por sistemas construtivos convencional e paredes de concreto**. 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

MOREIRA, A. L. R. **Materiais e Processos Construtivos não Convencionais para Moradia Popular**. 2013. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/estadual/programas_desenvolvimento_urbano/Inov_tecno/alvenaria_estrutural/index.asp. Acesso em: 21 de mai. 2014.

MONTEIRO, A. R.; VERAS, A. T. de R. A questão habitacional no Brasil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, 2017.

MURARO, M. S.; CICHELERO, G. Z. **Uso, eficiência e a economia da alvenaria estrutural: pesquisa comparativa de relação entre estruturas do sistema construtivo convencional**. 82f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

NETO, Á. P. do P.; PELUSO, E. de O.; CARVALHO, V. T. A. de. **Alvenaria estrutural: Empreendimento Flora Park II**. 58f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás - UFG Escola de Engenharia Civil - EEC. Goiânia, 2015.

NEW STORY, 2017. Disponível em: < <https://newstorycharity.org/3d-community/> > Acesso em: 20 de abril 2020.

OLIVEIRA, J. P. G.; SILVA, L. C.; DA SILVA FERNANDES, F. A. Satisfação Casa Tipo 1.0 em bloco de concreto estrutural: conforto térmico, acústico e estrutural na cidade de Palmas -TO. **Revista Integralização Universitária**, n. 16, 2017.

PORTO, T. M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**, 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2016.

QUEIROGA, V. L. **Uso da impressão 3D na produção de unidades habitacionais de baixa renda**. 64f. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

RODRIGUES, M. L. **Ganhos na Construção com a Adoção da Alvenaria com Blocos Cerâmicos Modulares**. 71f Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2013.

ROGOSKI, E. R. I. **Estudo comparativo entre os sistemas construtivos: alvenaria estrutural e painéis pré-moldados autoportantes de concreto armado**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), 87f. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Rosa, RS, 2018.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. do N.; ARAÚJO, H. N. de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SÁNCHEZ, E. Nova **Normalização Brasileira para a Alvenaria Estrutural**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.

SANTOS, M. V. A. D. **Desenvolvimento de Tipologias para habitações de interesse social**. 146f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Centro de

Tecnologia, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2011.

SOUSA, L. R. de. **Habitação de interesse social**. 50f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) FACULDADES INTEGRADAS DA UNIÃO EDUCACIONAL DO PLANALTO CENTRAL - FACIPLAC. Gama –DF, 2019.

STEEL FRAME. **Quando o steel frame chegou ao Brasil** (2017). Disponível em: <http://lightsteelframe.eng.br/quando-o-steel-frame-chegou-no-brasil-historia-e-futuro-do-sistema/>. Acesso em setembro de 2019.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica, São Paulo**, v. 2, n. 2, p. 28-40, 2012.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

WINSUN, 2018. Disponível em: <http://www.winsun3d.com/En/About/>. Acesso em: 14 abr. 2020.

WOHLERS, T.; GORNET, T. History of additive manufacturing. **Wohlers report**, v. 24, n. 2014, p. 118, 2014.