

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO E DE CONSTRUTIBILIDADE EM PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN COST AND CONSTRUCTABILITY IN SOCIAL HOUSING

João Paulo Maciel de Abreu¹, Leonardo de Aguiar Corrêa¹, Fernanda Fernandes Marchiori¹ e Luiz Augusto Ferreira Pieniz¹

RESUMO:

Empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS) são parte de políticas públicas de habitação, e possuem características particulares, como a necessidade de menor custo e atender a condições mínimas de conforto para famílias de baixa renda. Para que o menor custo seja atendido, é necessário que os projetos sejam desenvolvidos de modo a permitir uma maior eficiência durante a execução (maior construtibilidade). O objetivo da presente pesquisa é fazer o comparativo custo *versus* construtibilidade para dois processos construtivos muito frequentes nas obras de HIS multifamiliares do Brasil: Alvenaria Estrutural e Paredes de Concreto Armado moldado *in loco*, a fim de responder à questão: o processo construtivo com melhor construtibilidade também apresenta um custo menor? Para fazer tal análise, desenvolveram-se orçamentos referentes a cada estado brasileiro e avaliações de construtibilidade para cada processo construtivo. Como resultados, verifica-se que, neste estudo de caso, o processo de paredes de concreto armado moldado *in loco* foi o que apresentou melhor construtibilidade e também o menor custo.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de construtibilidade; Orçamentação; Tipologias de Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT:

Social Housing Buildings (HIS) are part of housing public policies and have specific characteristics like low costs and minimal comfort conditions for low-income families. To obtain low cost buildings, design development should enable more efficient construction (constructability). This research aim is a comparative analysis between cost versus constructability within two construction methods frequently used in Brazilian Social Housing: Structural Masonry and Cast In-situ Reinforced Concrete Wall, to answer the question: does the construction way with more constructability has the lower cost, too? For this purpose, construction cost were estimated and constructability was evaluated. As a result, it was verified that the Cast In-situ Reinforced Concrete Wall method had better constructability and cost for the cases studied.

KEYWORDS: Constructability Assessment; Buildability Assessment; Estimate; Social Housing Typologies.

¹Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Grupo Gestão da Construção (Gestcon).

Fonte de Financiamento: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001, e com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver.

Ética em Pesquisa: Autores declararam não haver necessidade de aprovação por comitê de ética.

Submetido em: data de
submissão: 26/03/2021
Aceito em: 19/11/2022

How to cite this article:

ABREU, João Paulo Maciel de; CORRÊA, Leonardo de Aguiar; MARCHIORI, Fernanda Fernandes, PIENIZ, Luiz Augusto Ferreira. Análise comparativa de custo e de construtibilidade em projeto de habitação de interesse social. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v18, n1, 2023. <https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.183649>

INTRODUÇÃO

A Habitação de Interesse Social (HIS) envolve soluções em empreendimentos destinados a atender a população de baixa renda (até três salários mínimos mensais por família), conferindo condições de qualidade de vida e retirando essa parcela da população de moradias precárias e irregulares (CAIXA, 2010, 2021). Nas legislações municipais brasileiras, há incentivos especiais e aspectos específicos para esse tipo de empreendimento, que auxiliam na redução do déficit habitacional, como parte de uma política pública de habitação (LIMA *et al.*, 2012).

O desenvolvimento da HIS envolve diferentes variáveis, desde as características das edificações de moradia, até a qualidade urbanística dos complexos habitacionais, considerando sua inserção no meio urbano e acesso a serviços (DEZEN-KEMPTER; ANHAIA; TERRA, 2015). Dentre essas variáveis está o custo para construção, que não pode ser elevado, mas precisa permitir a construção de moradias que atendam às necessidades básicas dos moradores (LIMA *et al.*, 2012). A melhoria de custo das unidades de HIS pode ser obtida por diferentes técnicas, como a otimização de plantas arquitetônicas (FRANCISCO *et al.*, 2013), escolha de materiais, métodos e de processos construtivos, dentre outras.

Maranhão (2000) indica um exemplo onde a redução de custo (que é relevante na HIS) pode ser associada à ênfase em construtibilidade, considerando estruturas de concreto armado moldado *in loco*, e dados comparativos de custo relativos a uma empresa estadunidense. Russell e Gugel (1993) apontam potencial de 5,00 a 11,70 % de redução de custos em projetos de maior construtibilidade.

A construtibilidade é uma característica inerente às construções, indicando seu grau de facilidade de execução, e estaria associada à redução de custos nos exemplos citados. Um projeto com maior construtibilidade também envolve uso ótimo dos recursos disponíveis e a consideração das operações construtivas na etapa de projeto (SABBATINI, 1989; ASCE, 1991). Além do possível benefício de custo, outros atributos como redução do consumo de mão de obra, melhoria da produtividade em canteiro e qualidade das edificações estão relacionados à melhoria de construtibilidade. Um exemplo prático de maior construtibilidade consiste na redução de partes e peças, como a redução do número de camadas de revestimento e acabamento em uma parede (LAM *et al.*, 2007).

As medidas visando maior construtibilidade podem ser adotadas em todos os estágios do ciclo-de-vida da construção, sendo maior a quantidade de intervenções possíveis nas etapas de estudo de viabilidade e projeto do produto, visando as etapas posteriores. Na execução, outras medidas como o planejamento da produção e definição do sequenciamento de atividades também podem ser adotadas visando maior construtibilidade (SAFFARO; SANTOS; HEINECK, 2004).

Do ponto de vista da administração pública, é estratégica a otimização no uso de recursos destinados às políticas de habitação, pois menor custo, associado a um nível mínimo de qualidade (como o definido pela norma de desempenho (ABNT, 2013)), permite maior benefício social. Essa otimização poderia ser obtida por meio de um sistema de pontuação para a construtibilidade em licitações públicas. Dessa forma, seriam fomentados pelo governo projetos que fossem mais eficientes sob o ponto de vista da facilidade construtiva e que, teoricamente, poderiam levar a menores custos.

Considerando a iniciativa privada envolvida na execução dessas edificações, a redução de custos, melhoria de qualidade e produtividade também são fatores benéficos associados à maior construtibilidade, ressaltando-a como objetivo nesses empreendimentos. Entretanto, com exceção do exemplo de Maranhão (2000), não foram identificados outros estudos de caso, principalmente que envolvam dados de custo no Brasil, que embasem a hipótese de que melhor

construtibilidade leva a menores custos, verificada em pesquisas no exterior. Nessa mesma referência, também não se observam comparativos de custos e construtibilidade entre outros processos construtivos além de estruturas de concreto armado com vedação em alvenaria cerâmica. Processo construtivo, segundo Sabbatini (1989), “*caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro)*”, sendo “*um organizado e bem definido modo de construir um edifício*”.

No presente trabalho procura-se responder à seguinte pergunta de pesquisa: *obter melhor construtibilidade implica em obter também o menor custo de um projeto?* Para respondê-la, tem-se como objetivo avaliar diferentes processos construtivos para edificações multifamiliares de interesse social sob os aspectos de custo e de construtibilidade. Para tanto, foram orçadas duas alternativas de processo construtivo, em alvenaria estrutural e com paredes de concreto armado, as quais foram escolhidas por serem as mais frequentemente utilizadas no país, para padrões populares e de HIS (LIMA; COSTA, 2018).

A comparação de custo e construtibilidade apresentada neste artigo possui a limitação de que nem sempre o custo de uma solução de grau mais avançado de industrialização pode ser compensado pela redução do gasto com mão-de-obra. O comparativo, portanto, será válido nas condições propostas pela presente pesquisa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item serão sintetizados conhecimentos relativos aos processos de avaliação de construtibilidade de projetos de edificações isoladas ou de empreendimentos. Inicialmente, será apresentado o panorama mundial em sistemas de avaliação e, posteriormente, características do sistema de avaliação adotado nesta pesquisa.

CONSTRUTIBILIDADE E SISTEMAS DE AVALIAÇÃO

As primeiras definições de construtibilidade datam dos anos 1980, tendo sido feitas pela *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA) no Reino Unido e pelo *Construction Industry Institute* (CII) dos EUA. Nas duas décadas posteriores, houve o desenvolvimento do conceito de construtibilidade e, a partir dos anos 2000, surgiram os primeiros sistemas de avaliação da construtibilidade (JARKAS, 2010).

O conceito de construtibilidade é equivalente a dois termos em língua inglesa, conhecidos como *buildability* e *constructability*. *Buildability* considera aspectos de projeto, ou *design* do produto, como elementos geométricos, padronização e processo construtivo. *Constructability* passou a englobar aspectos de execução, ou, mais recentemente, de operação e manutenção (JARKAS, 2010; LAM *et al.*, 2007; FADOUL; TIZANI; OZORIO-SANDOVAL, 2021). Os sistemas de avaliação de construtibilidade refletem essa evolução de conceitos, com aspectos considerados segundo essas duas variantes, e também segundo a escala de análise, que pode variar partindo de métodos construtivos, como execução do sistema de formas para concreto armado (KANNAN; SANTHI, 2018), análise de uma edificação isolada a empreendimentos de construção (ponderação por representatividade das edificações, avaliando a construtibilidade de todo o empreendimento).

Em Singapura, o *Buildable Design Appraisal System* (BDAS) avalia a construtibilidade de empreendimentos de construção: uma nota mínima de construtibilidade é parte dos requisitos para licenciamento de obras. O BDAS é válido desde o ano de 2001, com melhorias e atualizações posteriores. Inspirado no BDAS, mas considerando o mercado de Hong Kong, em 2003 foi proposto academicamente o *Buildability Assessment Model* (BAM) (LAM *et al.*, 2007). Ambos os sistemas consistem em pontuações de construtibilidade (*buildability*), mas diferem

em sua estrutura: o BDAS une sistemas estruturais e de vedação vertical aos níveis de acabamento, enquanto o BAM realiza avaliações de construtibilidade separando sistemas de vedação e estrutura dos elementos de acabamento.

No Brasil, até então, existem dois sistemas de indicadores propostos para avaliação de construtibilidade. Narloch (2015) propôs um sistema de avaliação que considera aspectos de projeto, avaliados separadamente, alinhando-se ao conceito internacional *buildability*. Abreu (2020) também propôs um sistema, o Sistema de Indicadores de Construtibilidade para a Construção Civil (SICC), considerando dados do sistema BDAS e realizando aprimoramentos, alinhado ao conceito *constructability*, ou seja, mais abrangente. Esse sistema permite avaliações de aspectos separadamente, ou indicadores parciais e geral, representando etapas ou o empreendimento completo. Por esse motivo, adotou-se o método de Abreu (2020) para avaliação de construtibilidade na presente pesquisa.

SISTEMA DE INDICADORES DE CONSTRUTIBILIDADE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL (SICC) PROPOSTO POR ABREU (2020)

O SICC consiste em um sistema de avaliação de construtibilidade pelo uso de indicadores que levam em conta aspectos de: *design* do produto, como se dá o planejamento da produção e aspectos ligados à execução (como organização do canteiro, segurança). Tais indicadores estão organizados em indicadores isolados (representando características da edificação/edificações do empreendimento), indicadores parciais e um indicador geral de construtibilidade. Cada indicador isolado varia de zero a um, sendo maiores valores associados às condições de maior construtibilidade. Esse sistema foi desenvolvido e validado por especialistas em projeto e construção considerando empreendimentos reais (em estudo de caso com processos construtivos de alvenaria estrutural, paredes de concreto armado e estrutura de concreto armado reticulada) de “Prédio Popular – Padrão Baixo” (PP-B)ⁱ, o qual é compatível com o projeto do empreendimento objeto do estudo de caso do presente artigo. A Figura 1 sintetiza os elementos e o formato desse sistema.

Figura 1. Indicadores e estrutura do SICC.

Fonte: Autores (2022), com base em Abreu (2020).



Os indicadores parciais são ponderações entre cada indicador isolado e pesos associados, e o indicador geral considera todos os indicadores do sistema, também por ponderação e pesos.

Os indicadores parciais e o indicador geral são representados em formato percentual, também sendo os maiores valores associados à maior construtibilidade do elemento de análise.

Esse elemento de análise pode ser uma edificação isolada, o que pode coincidir com o empreendimento, quando de única torre. Também existe a possibilidade de avaliação, por ponderações de área construída, de todas as edificações que compõem o empreendimento.

As avaliações de construtibilidade são flexíveis, permitindo a obtenção de análises de características individualizadas, bem como o acompanhamento do empreendimento ao longo de seu desenvolvimento, para avaliações durante o projeto (*design* do produto) (por indicadores como o de desenvolvimento de projetos, coordenação de projetos, índice de repetição de esquadrias, presença de elementos curvos em fachadas e esquadrias, dentre outros), planejamento da produção (em indicadores como o de projeto para produção, projeto de *layout* de canteiro e distância dos fornecedores/custo de transporte) e execução (avaliando a existência de reuniões mensais de obra, canteiro organizado e presença de EPIS/EPCs e de padronização de método executivo). Uma avaliação completa pode ser obtida durante a execução do empreendimento, ou após sua finalização, e indicadores parciais permitem a avaliação prévia, considerando características e dados disponíveis para a definição dos indicadores.

Ainda na Figura 1, é destacada a fase em que se encontra o empreendimento a ser avaliado pelo presente estudo, na cor azul clara (estudos preliminares, avaliação por *design* do produto). Empreendimentos em fases mais avançadas são avaliados por mais indicadores.

MÉTODO

A presente pesquisa foi realizada segundo três grandes etapas, as quais são ilustradas pelo fluxograma constante na Figura 2: (1) Fundamentação teórica, (2) Desenvolvimento e (3) Resultados e discussões. Na etapa de fundamentação teórica, foram pesquisados aspectos relacionados ao processo de orçamento por composições unitárias e definição de custos indiretos. Ainda nessa etapa, foram verificados quais eram os sistemas de avaliação da construtibilidade presentes na bibliografia nacional e internacional, por meio de revisão integrativa.

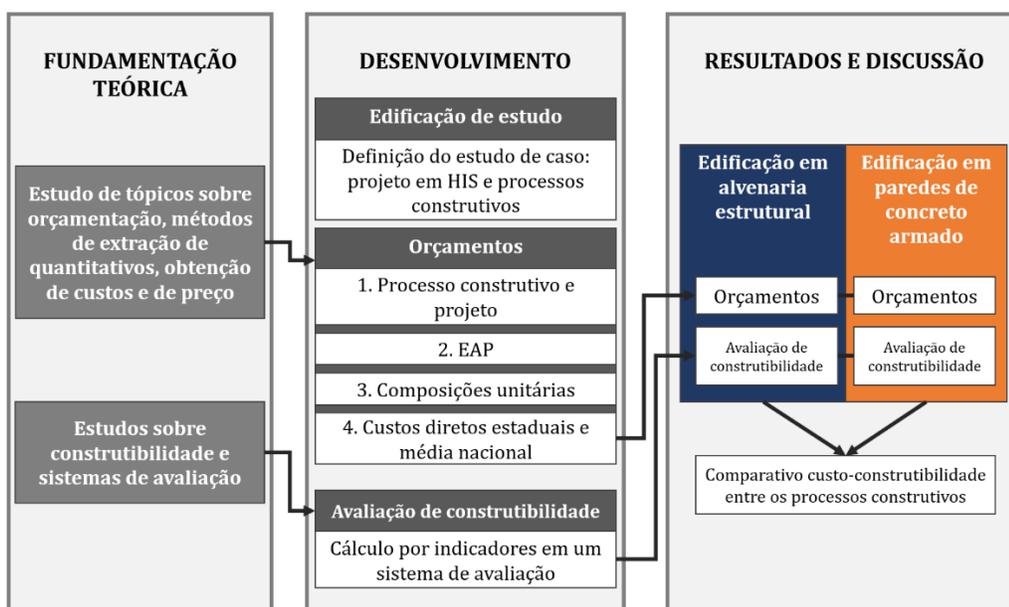


Figura 2. Etapas da pesquisa

Fonte: Autores (2022)

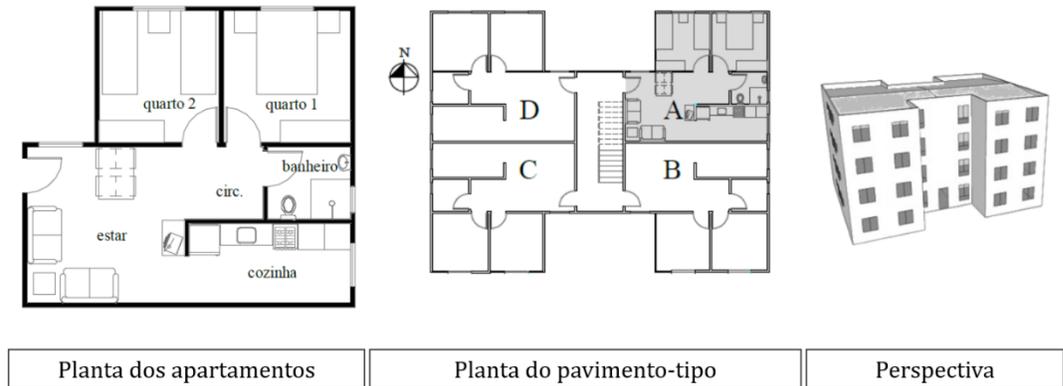
Com tais subsídios, ocorreu a etapa (2) de Desenvolvimento. Nessa etapa, foram desenvolvidos orçamentos relacionados a um projeto de habitação de interesse social, considerando os processos construtivos de alvenaria estrutural e de paredes de concreto armado, paralelamente às avaliações de construtibilidade relacionadas a essas duas variantes do projeto. Por fim, na etapa de resultados e discussões (3), foram analisados os orçamentos e avaliações de construtibilidade para as variantes, apontando-se qual opção, de acordo com este estudo, seria mais adequada para otimização dos aspectos de custo e de construtibilidade.

PROJETO DE HIS ANALISADO

Nesta pesquisa, considerou-se como projeto de análise um residencial multifamiliar em planta formato “H”, desenvolvido por Triana Montes (2016), a partir de tipologias construtivas de HIS praticadas em empreendimentos com essa finalidade no Brasil, ilustrado pela Figura 3. Consiste em um edifício com quatro pavimentos, cada um contendo quatro apartamentos de 43,07 m², com dois quartos, estar/jantar, cozinha/lavanderia e banheiro. Cada edifício possui área construída total de 814,89 m², sendo considerada uma única unidade dessa edificação nas análises.

Figura 3. Residencial Multifamiliar (HIS) – projeto analisado.

Fonte: Triana Montes (2016).



Considerou-se esse mesmo projeto, para execução nos processos construtivos de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e paredes de concreto armado, respeitadas as diferenças construtivas para cada um, mantendo-se a mesma área construída e perímetro externo em planta. Triana Montes (2016) especificou o presente projeto em paredes de concreto, e Abreu (2020) verificou empreendimentos em paredes de concreto armado e alvenaria estrutural com as maiores avaliações de construtibilidade, embasando a escolha por esses processos construtivos para o presente estudo. Também se deve ressaltar que, nesse tipo de empreendimento de HIS, não é priorizado o aspecto de flexibilidade arquitetônica na unidade habitacional, como ocorre em outros padrões construtivos, o que permite a opção por esses processos construtivos. Outras características desse projeto são apresentadas no Quadro 1.

O processo construtivo de paredes de concreto armado envolve um conjunto de elementos com função de vedação vertical e de supraestrutura. A construção desses elementos envolve serviços de formas; corte, dobra e montagem de armaduras, e concretagem. Ocorre o embutimento de instalações antes de a concretagem ser executada.

Já o processo construtivo de alvenaria estrutural, apesar de também envolver elementos com função estrutural e de vedação, diferencia-se por sua composição. As paredes são erigidas com blocos estruturais, de diferentes tamanhos, compondo famílias de blocos, havendo um tipo de bloco predominante em relação aos demais (observa-se o bloco predominante pela coloração verde clara na ilustração da Figura 4), e outros utilizados para fins de amarração e

compatibilização dimensional (meio-bloco e compensadores). Nas regiões de vergas, contravergas e cintas, utilizam-se blocos que servem como “formas” a vigas de microconcreto (graute + agregados), em formato de “U”, chamados de canaleta (na cor cinza escura na Figura 4), e também há grauteamentos verticais com presença de armadura em regiões específicas, como na amarração de paredes perpendiculares.

Especificações segundo o processo construtivo	Projeto considerando alvenaria estrutural (AE)	<ul style="list-style-type: none"> • Vedação vertical em blocos cerâmicos 14 x 19 x 29 cm. • Elementos construtivos como vergas, contravergas e pilaretes armados e preenchidos com graute. • Revestimentos argamassados de chapisco e emboço, em espessuras mínimas (devido às tolerâncias executivas dessa forma de alvenaria), nas paredes e tetos, internos e externos.
	Projeto em paredes de concreto armado (PCA)	<ul style="list-style-type: none"> • Paredes com 10 cm de espessura em concreto armado moldado <i>in loco</i>. • Acabamento para correção de textura de paredes e teto por estucamento.
Especificações comuns aos dois projetos		<ul style="list-style-type: none"> • Esquadrias em alumínio, dimensionadas para aproveitamento da insolação e ventilação naturais. • Telhado em estrutura metálica, coberto por telhas de fibrocimento 8 mm. • Pé-direito de 2,50 m. • Lajes de cobertura em todos os pavimentos. • Forro de madeira nos banheiros, recobrimdo instalações hidrossanitárias. • Edificação sem elementos de acessibilidade. • Acesso aos pavimentos via escada em concreto armado moldado <i>in loco</i>.

Quadro 1. Características da edificação de estudo.

Fonte: Autores (2022), adaptado de Triana Montes (2016).

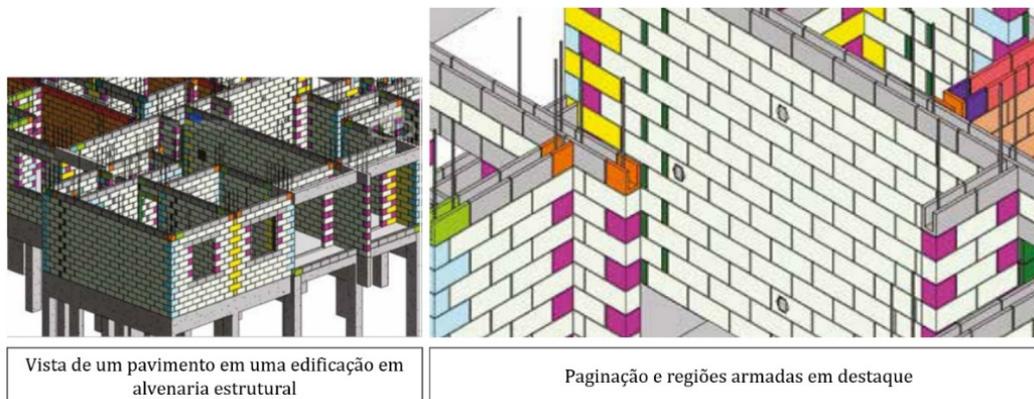


Figura 4. Exemplo de paginação no processo construtivo de alvenaria estrutural

Fonte: Adaptada de Freire, Pugliesi Filho e Albessú (2018)

Legenda - Blocos estruturais

14 x 19 x 39 cm (predominante)	14 x 19 x 54 cm	14 x 19 x 34 cm (canaleta)
14 x 19 x 4 cm	14 x 19 x 19 cm (canaleta)	14 x 19 x 39 cm (canaleta)
14 x 19 x 19 cm	14 x 19 x 34 cm	19 x 19 x 39 cm

No estudo de caso realizado, foram considerados diferentes blocos estruturais. Como bloco predominante da família, por estudo de custos explicitado posteriormente, definiu-se o bloco cerâmico de 14 x 19 x 29 cm.

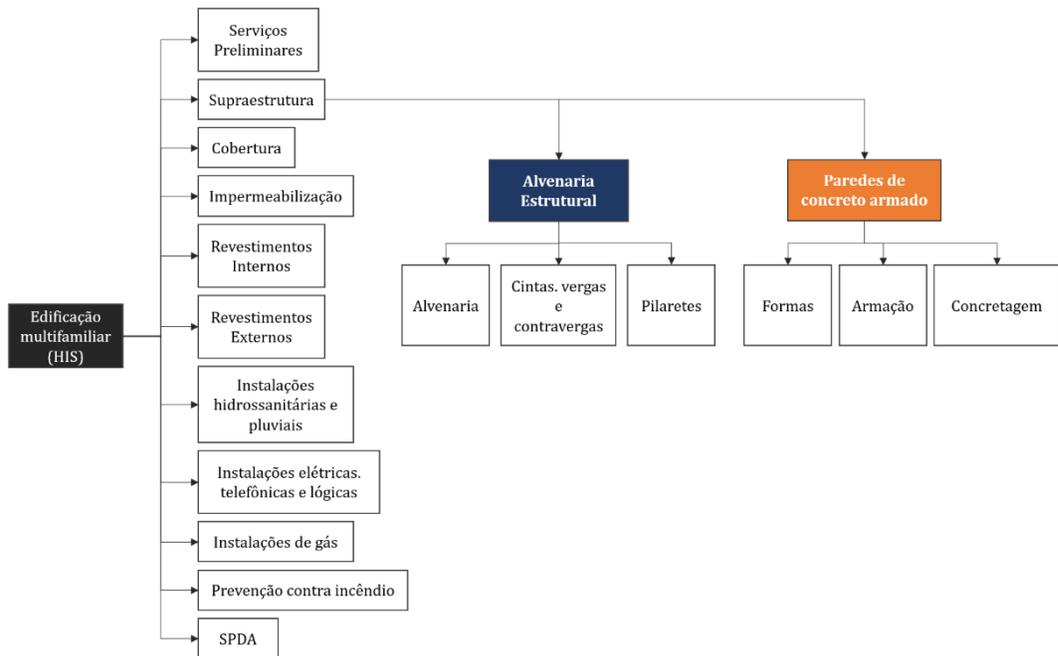
Não foi realizada uma adaptação de projeto para paginação de alvenaria estrutural porque, mesmo que realizada, para fins de pesquisa, a mesma não traria ganhos de precisão ao estudo desenvolvido. Conforme ressalta Felisberto (2017), não apenas modelagens em BIM, mas sistemas de composições de custos como o Sinapi possuem níveis de detalhamento, não havendo composições de custos associadas a cada bloco na estruturação das composições unitárias do Sinapi, mas a famílias com blocos predominantes, conforme explícito no item a seguir.

ORÇAMENTOS POR COMPOSIÇÕES UNITÁRIAS

Para o desenvolvimento dos orçamentos, o primeiro passo consistiu na definição dos processos construtivos. Conhecidos esses processos construtivos e os demais serviços de construção necessários, os empreendimentos de construção de um bloco residencial foram segmentados em Estruturas Analíticas de Projeto (EAPs), segundo indicado por Marchiori (2009), ilustradas pela Figura 5. A seção “supraestrutura”, principalmente, foi adequada aos processos construtivos.

Figura 5. EAPs de orçamento.

Fonte:
Autores (2022).



Nas EAPs são consideradas todas as etapas construtivas de uma unidade dessa HIS, exceto fundações, devido à variabilidade de soluções possíveis, a depender de um terreno de implantação, e às avaliações de construtibilidade, que consideram as características dos sistemas estruturais para supraestrutura. Definidas as EAPs, consultaram-se as composições unitárias de custos de acordo com todos os serviços de construção pertinentes, sendo a maioria dessas composições (acima de 90 %) advindas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi). A definição sobre quais composições de custos utilizar dependeu de fatores relacionados à produtividade de mão de obra e consumo de materiais dos serviços de construção, e sua variação dentro do projeto de HIS analisado. Para melhor ajuste ao projeto e sua possível execução, levando à maior precisão de custos, utilizou-se mais de uma

composição unitária presente no Sinapi, de acordo com as variações pertinentes e disponíveis para aquele processo construtivo.

Para paredes de concreto armado moldado *in loco*, verificaram-se composições variantes segundo formas de fachada e internas, concretagens em pavimentos ou em platibanda, e à tipologia da edificação (edifício multipavimentos). Por fim, consideraram-se as composições variantes de estucamento interno, externo e em lajes concretadas.

As composições de custos unitários do Sinapi consideram custos de produção como substituição e reaproveitamento de formas, cimbramentos e eventuais perdas incorporadas de concreto durante o processo de produção das paredes de concreto armado. Considerou-se, no presente estudo, que as formas serão de alumínio, o que confere boa qualidade para o produto final.

Para o processo construtivo de alvenaria estrutural, verificaram-se no Sinapi composições variantes segundo a presença/ausência de vãos, bem como áreas líquidas de paredes acima ou abaixo de 6 m². Essas composições de custos variam, também, segundo o bloco predominante da família de blocos de alvenaria estrutural, estabelecendo, para fins de custo, o consumo dos outros blocos, como canaleta e meio bloco. Considerando a composição Sinapi nº 89290 (CAIXA, 2020), por exemplo, 84,5 % dos blocos são do bloco predominante, percentual que ilustra, qualitativamente, o aspecto de predominância apresentado na Figura 4, para esse processo construtivo.

A variante em alvenaria estrutural orçada não possui projeto de paginação de alvenaria, e não possui especificação de bloco predominante. Para estabelecer quais seriam as dimensões e material desse bloco, algumas simulações prévias de custo foram realizadas (Figura 6).

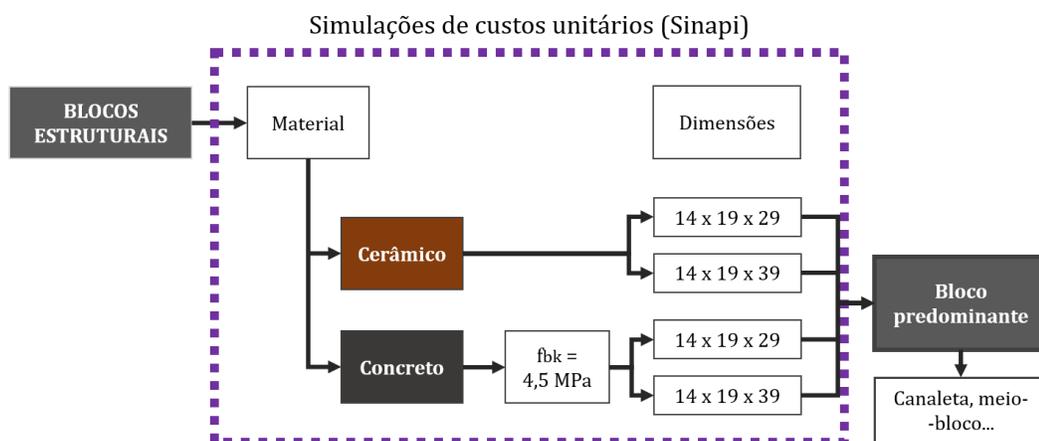


Figura 6. Simulações para bloco predominante

Fonte: Autores (2022)

Para fins de orçamento, consideraram-se as composições para alvenaria e as proporções de consumo definidas pelo Sinapi, e foram simuladas variações de custo segundo os blocos predominantes de 14 x 19 x 29 cm e 14 x 19 x 39 cm, considerando-se a opção de menor custo final para a supraestrutura, ou seja, o bloco cerâmico de 14 x 19 x 29 cm. Por projetos similares, verificou-se que esse bloco seria o predominante, considerando 14 cm de espessura de alvenaria, em edificações com quatro pavimentos, validando a especificação utilizada no orçamento.

Outra opção consistiria na utilização de blocos estruturais de concreto, que também podem ser orçados pelo Sinapi após a definição do bloco predominante da família, entretanto, os mesmos se mostraram como uma opção mais cara. Simularam-se, para uma condição de paredes com vãos e área líquida acima de 6 m², que é a mais representativa no projeto de HIS estudado, os

custos diretos unitários com blocos de 14 x 19 x 29 cm em cerâmica e concreto (composições Sinapi 89296 e 89467, 10/2020), sendo maiores para blocos de concreto em vinte e quatro estados brasileiros, em média 12,31 %.

Definidas as composições unitárias adequadas aos processos construtivos, e aos sistemas prediais, realizou-se o levantamento de quantitativos, alinhados às composições. Segundo Felisberto (2017) considera-se que a execução de quantidades maiores ou menores do que uma unidade de serviço demandem recursos de forma proporcional, multiplicando-se as demandas de recursos da composição pelo quantitativo. Os quantitativos dos serviços foram obtidos por meio de leitura de modelo BIM, dimensionamentos e especificações complementares (água, esgoto, eletricidade e outros sistemas prediais), e dados parametrizados de projetos similares para as taxas de armação necessárias. Por meio de plataforma *on-line* de orçamentos, foram organizados a EAP, composições e quantitativos, sendo gerados os cálculos de custos diretos.

Segundo o Tribunal de Contas da União (TCU), aos custos diretos é acrescida uma parcela de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), usualmente representada como um percentual dos custos diretos (BRASIL, 2013a), a fim de abranger outros custos não proporcionais (os custos indiretos) e o lucro da construtora, compondo um preço. O BDI pode variar de empresa para empresa, ampliando proporcionalmente as diferenças de custo direto entre opções relacionadas a métodos, processos e sistemas construtivos. Optou-se por desenvolver as análises considerando apenas os custos diretos, visto que seriam o piso das diferenças monetárias entre os processos construtivos a comparar, em um mesmo mês de referência (caso contrário, variações temporais de custo, distintas entre insumos dos processos construtivos estudados, poderiam gerar variações de resultado). Geraram-se orçamentos representativos para cada uma das unidades federativas do Brasil, considerando as respectivas planilhas não desoneradas, encargos sociais e custos diretos por estado divulgados pelo Sinapi, respectivos ao mês de outubro de 2020 (as análises delimitam-se, portanto, ao mês de referência).

AVALIAÇÃO DE CONSTRUTIBILIDADE

Dentre os modelos de avaliação da construtibilidade, verificou-se o padrão de empreendimento de construção e considerou-se a condição de execução em território brasileiro para sua definição. Diante de tais aspectos, definiu-se a avaliação de construtibilidade pelo SICC, que foi construído e teve seu sistema de pesos e validação realizados com profissionais brasileiros, e o acréscimo de dados nacionais às análises existentes em sistemas internacionais. Outros aspectos favoráveis à utilização desse sistema consistem em sua análise mais abrangente de construtibilidade (alinhada ao conceito *constructability*), envolvendo aspectos de projeto, construção e execução, observados tão cedo quanto possível no empreendimento (o que é um pressuposto do conceito de construtibilidade).

Também se permite a análise evolutiva, acompanhando o ciclo-de-vida do empreendimento de construção, até a entrega aos moradores. A edificação em HIS estudada encontra-se em fase de estudos preliminares, com detalhamento incipiente, e, desse modo, a construtibilidade é representada por um indicador parcial de construtibilidade de *design*, que consolida quinze indicadores relacionados ao projeto, sistema construtivo (vedação e estruturas) e padronização (Figura 1). Os indicadores cuja definição não era possível no estágio do empreendimento, ou para os quais não houvesse informações suficientes e adequadas para um projeto padrão genérico, receberam avaliações mínimas. Um exemplo é o indicador de “Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar”, que se refere à presença satisfatória de especificações em projetos e memoriais,

para o qual foi atribuída nota 0,00, pois, na fase de estudos preliminares, os projetos em AE e PCA não possuem todos os projetos, como por exemplo a paginação de alvenaria.

Para outros indicadores, foram realizadas avaliações conforme preceitos do SICC, como por exemplo:

- No indicador de “Desenvolvimento de projetos”, adotou-se a nota 1,00, visto que o projeto arquitetônico foi desenvolvido em BIM.
- Por meio de uma equação relacionando área e perímetro do pavimento tipo e a leitura desses dados no modelo BIM, o indicador “Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo” foi definido em 0,76, sendo que o indicador pressupõe formato ótimo em relação área-perímetro e aspectos construtivos como sendo planta quadrada (nota 1,00, situação paradigma).
- Como todos os pavimentos no projeto são pavimentos-tipo, o indicador “Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída” foi calculado como 1,00.
- O “Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas” e o indicador “Uso de mão de obra no Sistema estrutural” foram calculados pelas ponderações apresentadas na Figura 7.

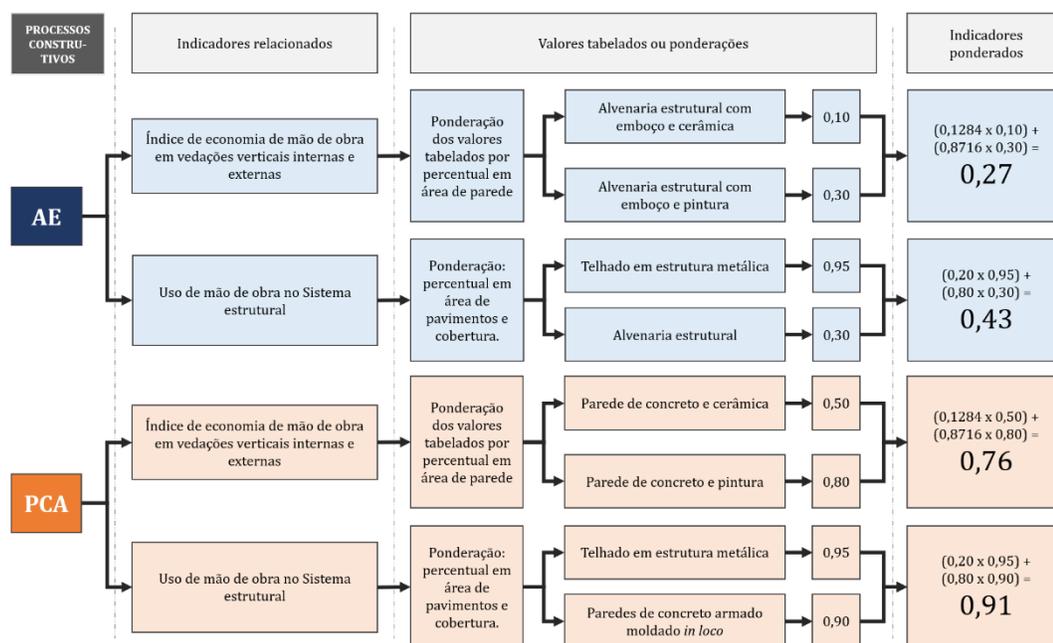


Figura 7. Cálculo de indicadores de construtibilidade relativos aos processos construtivos

Fonte: Autores (2022)

Foram feitas as avaliações por meio de extração de características e quantitativos em modelo BIM e especificações. As variações regionais de construtibilidade pelo modelo de avaliação adotado somente ocorrem nos indicadores de planejamento da produção e, desse modo, as variantes da avaliação da construtibilidade consistiram em um conjunto de indicadores relacionados à cada processo construtivo.

O SICC é considerado um mecanismo adicional para tomada de decisão quanto a materiais, técnicas e processos construtivos, podendo auxiliar escritórios de projeto, empresas construtoras e órgãos de governo. A sua utilização considera que a estratégia dos indivíduos e de uma entidade em que estejam inseridos (empresa ou órgão público) envolva *mindsets* de

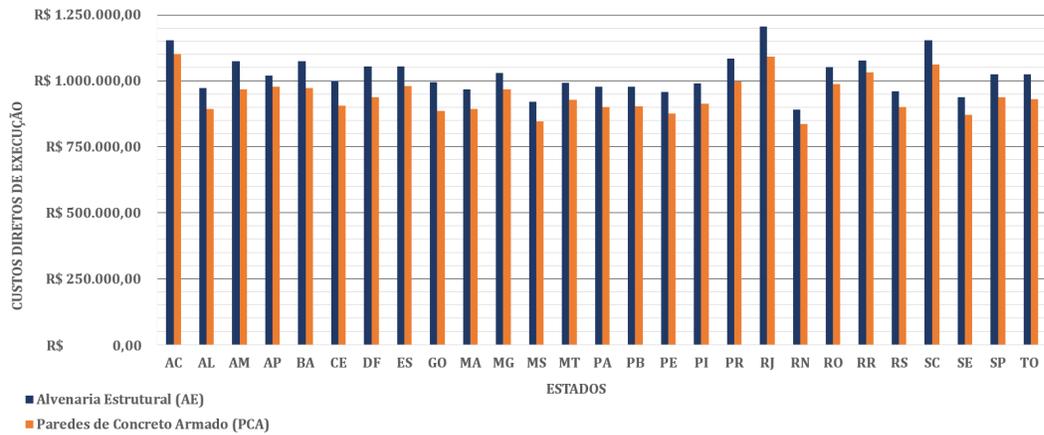
crescimento (FERREIRA, 2018), isto é, haja abertura a mudanças em empreendimentos futuros de acordo com novos dados e análises, e não seja uma decisão fixa o processo construtivo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o cálculo dos orçamentos, de acordo com o método descrito, obtiveram-se os custos diretos para uma edificação de HIS e todos os seus sistemas constituintes, indicados pela Figura 8. Nas unidades federativas, houve diferenças de orçamento em relação às variantes do projeto de HIS com processo construtivo de Alvenaria Estrutural (AE) e Paredes de Concreto Armado moldado *in loco* (PCA), observando-se custos diretos menores para PCA em todas. Essa diferença foi menos expressiva nos estados do Amapá e Roraima, representando cerca de R\$ 40.000,00 ou 4 %, e mais expressiva no estado de Goiás e no Distrito Federal, ficando em torno dos R\$ 110.000,00 ou 12 %. Os custos extremos e de tendência central obtidos também são sintetizados por meio do Quadro 2.

Figura 8. Custos diretos do empreendimento por estado brasileiro.

Fonte: Autores (2022).



Quadro 2. Resumo das características dos orçamentos estaduais

Fonte: Autores (2022)

Processo construtivo		Alvenaria Estrutural (AE)	Paredes de Concreto Armado (PCA)
Valores absolutos	Custo mínimo	R\$ 890.154,13	R\$ 835.766,22
	Custo máximo	R\$ 1.205.659,93	R\$ 1.102.721,70
	Custo médio	R\$ 1.023.070,18	R\$ 944.600,48
Diferença absoluta	Mínima	R\$ 42.097,70	
	Máxima	R\$ 118.876,93	
	Média	R\$ 78.469,70	
Diferença relativa	Mínima	4,18 %	
	Máxima	12,69 %	
	Média	8,34 %	

De forma qualitativa, a diferença entre orçamentos seria justificada pelo aumento de etapas de execução de vedações verticais e de acabamentos necessária na AE. A execução de PCA envolve produção de formas, armação e concretagem, com acabamento superficial da parede concretada sendo dado por estucamento, para corrigir irregularidades superficiais. A AE, independentemente de execução em blocos cerâmicos, como definido neste estudo, ou em blocos de concreto, demanda grauteamentos individuais de vergas, contravergas, vigas de cinta e pilaretes, bem como todo o revestimento argamassado interno e externo por chapisco e emboço. Entretanto, a definição de custos de execução de edificações envolve outras variáveis,

como o custo de insumos e os encargos sociais, com variação local e, desse modo, a simulação estadual fez-se necessária para verificação se tais aspectos executivos implicariam em diferenças significativas de custo, demonstrando-se preponderantes às variações regionais. Outro aspecto que não se observou, apesar de possível pelas diferenças regionais de custos, foi de custo inferior da HIS em AE em alguma das unidades federativas.

Verificou-se que a demanda mínima de acabamentos seria o maior responsável pelas diferenças de custos entre processos construtivos, confirmando a observação qualitativa anteriormente mencionada. Somente considerando os elementos de supraestrutura, em todos os estados brasileiros, essa etapa apresenta menor custo para AE, entretanto, a necessidade de chapisco e emboço nas alvenarias, o que não é necessário em PCA, faz com que o processo construtivo de PCA se torne mais vantajoso, levando a 21,23 % menos custos diretos, se consideramos os revestimentos em argamassa necessários, nesse comparativo (Quadro 3).

	Supraestrutura	Supraestrutura + Revestimento de argamassa (chapisco e emboço)	Total
AE	R\$ 285.160,28	R\$ 446.422,80	R\$ 446.422,80
PCA	R\$ 368.244,43	R\$ 368.244,43	R\$ 368.244,43

Quadro 3. Custos médios nacionais de etapas da EAP

Fonte: Autores (2022)

As avaliações de construtibilidade não contemplam as fundações no sistema de indicadores adotado, exclusão que também ocorre em outros sistemas de avaliação adotados internacionalmente. Destarte, para que se verificassem paralelamente os aspectos de custo e de construtibilidade, bem como pelas variações que um sistema de fundações pode apresentar, as duas avaliações não consideram fundações. Para efeito ilustrativo, essas fundações foram simuladas, mas separadamente.

Parametrizou-se por área construída dados de orçamentos de fundações de edificações de mesmo porte (quatro pavimentos), contando com fundações por estacas cravadas, com 20 m de profundidade. Essas fundações demandariam recursos da ordem de R\$ 100.000,00 a R\$ 118.000,00 para cada unidade de HIS, também com referência em outubro de 2020.

A consideração de custo direto estabelece o patamar mínimo de diferença entre os processos construtivos analisados, no projeto de HIS. Quando a análise considera preços, essa diferença é ampliada, se considerados os dados absolutos, pois o preço é definido por uma parcela de BDI, apresentada como um fator dos custos diretos. Ilustrativamente, com base em uma parcela de BDI de 22,12 %, percentual médio para construção de edifícios indicado pelo Acórdão N° 2622/2013 do TCU (BRASIL, 2013b), a máxima diferença para AE e PCA seria, em termos de preço, de R\$ 145.172,51, sendo ampliada para taxas de BDI maiores. Os percentuais relativos presentes no Quadro 2 são mantidos, sendo válidos tanto para análises de custos diretos, como de preços.

Após a avaliação de custo, procedeu-se a avaliação de construtibilidade (Quadro 4), considerando todos os indicadores de construtibilidade de *design* e pesos definidos no SICC. Como são duas variantes de um mesmo projeto, aspectos de padronização e simplificação levaram a indicadores similares (e.g. *índice de repetição de esquadrias*), enquanto outros aspectos, na falta de definição prévia, receberam as avaliações mínimas, por padrão (e.g. *banco de dados sobre construtibilidade*). Nas avaliações por sistema construtivo de paredes e supraestrutura, foram consideradas as diferenças de construtibilidade entre AE e PCA, e calculados os indicadores relacionados aos processos construtivos como apresentado na Figura 7.

Nessa avaliação, não houve variantes estaduais, pois o aspecto localização não é incluído nos indicadores relacionados ao *design* do produto. Dessa forma, somente foram definidos dois

indicadores parciais de construtibilidade de *design* para a HIS em AE e PCA, havendo um indicador por processo construtivo. Como a construtibilidade representa o grau de facilidade de execução, as diferenças nos processos construtivos, que afetaram os preços por edificação, também refletiram em menor nota para a HIS em AE, por demandar mais passos executivos e maior nível de acabamento. Os indicadores, expressos na forma percentual em relação ao indicador máximo, foram de 55,11 % para PCA e 47,15 % para AE.

Quadro 4. Indicadores de construtibilidade de *design* dos projetos aplicados aos casos estudados.

Fonte:
Autores (2022)

Indicadores (I _i)	Peso (P _i)	AE		PCA	
		I _i	P _i • I _i	I _i	P _i • I _i
Desenvolvimento dos projetos	3,99	1,00	3,99	1,00	3,99
Uso de plataforma de nuvem	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00
Relação entre perímetro externo e área construída do pavimento-tipo	3,52	0,76	2,68	0,76	2,68
Área construída dos pavimentos-tipo em relação à área total construída	4,06	1,00	4,06	1,00	4,06
Coordenação de projetos	4,68	0,00	0,00	0,00	0,00
Presença de elementos curvos em fachadas ou esquadrias	3,40	1,00	3,40	1,00	3,40
Presença de especificação de marcas ou índices de qualidade dos materiais e componentes a empregar	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00
Qualidade na representação	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Índice de economia de mão de obra em vedações verticais internas e externas	4,72	0,27	1,27	0,76	3,59
Meio de transporte vertical	4,65	0,16	0,74	0,16	0,74
Uso de mão de obra no Sistema estrutural (supraestrutura e telhado)	4,61	0,43	1,98	0,91	4,20
Índice de repetição de esquadrias	4,53	1,00	4,53	1,00	4,53
Índice de repetição de seções de pilares	Sistema construtivo com pilares	4,36	-	-	-
	Sistema construtivo sem pilares	0,00	0,00	0,00	0,00
Índice de repetição de espessuras de lajes	4,05	1,00	4,05	1,00	4,05
Banco de dados sobre construtibilidade	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00
Indicador parcial de Construtibilidade de Design	Absoluto	SOMA	26,73	SOMA	31,24
	Percentual		47,15 %		55,11 %
Soma máxima de pesos (indicador absoluto máximo)				56,68	

No presente estudo, como foi adotado um mesmo projeto para dois processos construtivos, as diferenças de construtibilidade se pautaram no indicador de construtibilidade de uso de mão de obra no sistema estrutural. Dentro desse indicador, estão implícitos aspectos como a demanda de mão de obra de canteiro, grau de industrialização e número de partes e peças, o que leva à avaliação inferior para AE, que é um processo construtivo mais racionalizado do que estrutura de concreto armado com vedação em alvenaria, mas, ainda assim, com características artesanais. Em caso de outras variações de projeto, como verificadas na validação do SIC (que não envolveu estudo econômico), o conjunto das variações, pela avaliação multifacetada, definem a avaliação de construtibilidade como um todo (ABREU, 2020).

Dessa forma, pelo custo direto médio nacional de execução, considerando supraestrutura e sistemas prediais, o projeto de HIS analisado apresenta os aspectos mais vantajosos de custo (R\$ 944.600,48) e de construtibilidade (55,11 %) para PCA (Figura 9), convergindo ambos os critérios de avaliação, com o percentual médio de redução de custos de 8,34 % para a opção de maior construtibilidade corroborando com pesquisas realizadas no exterior, como a de Russell e Gugel (1993). Com isso, a edificação em HIS com supraestrutura em PCA, pelos critérios avaliados neste estudo, traria maiores benefícios se utilizada como base para estratégias de habitação social, permitindo maior facilidade de construção e otimização na utilização de recursos, sendo possível atender a mais famílias.



Figura 9. Síntese das análises de custo e de construtibilidade para o projeto de HIS

Fonte: Autores (2022)

Percentual de diferença de custo calculado com base nos custos diretos de PCA

Essa opção se demonstra mais vantajosa considerando a mesma área construída total por edificação, simplificação tomada para reduzir as variabilidades entre avaliações de preço e de construtibilidade. Caso fosse tomada como critério a manutenção das áreas úteis internas, considerada a diferença de espessura de paredes de 10 cm (PCA) para 17 cm (AE) (14 cm de bloco, 1 cm de emboço interno e 2 cm de emboço externo), maior seria a diferença de custo entre edificações, mantida a vantagem para a HIS em PCA – haveria o aumento de quantitativos como áreas de lajes, pintura, pisos, telhado e outros itens.

Pela simulação de custos diretos realizada, também se pode afirmar que a relação de maior construtibilidade e menor custo pode ser estendida quando se considera AE em blocos estruturais de concreto. Como, majoritariamente, a execução de alvenaria com esse tipo de bloco superou os custos diretos para blocos cerâmicos, mais vantajosa a variante em PCA se apresentaria nesse segundo comparativo.

CONCLUSÃO

No presente estudo de caso, observou-se que sob os aspectos de custo e de construtibilidade, o projeto de HIS em PCA apresentou melhor resultado, o que permite atender mais famílias com um mesmo montante de recursos financeiros, e maior construtibilidade. Foram consideradas as diferenças estaduais de custos de insumos e de mão de obra, e as mesmas não alteraram a relação custo-construtibilidade. Os resultados obtidos estão atrelados às condições de contorno (temporal, estágio dos projetos, base de custos) adotadas.

Além de agregar aos estudos em HIS, este estudo fornece uma contribuição às pesquisas sobre construtibilidade, onde se observam poucos comparativos custo-construtibilidade. Não foram identificados paralelos nacionais e poucos estudos de caso em obras no exterior. Isso se

justifica tanto pela necessidade de um método de avaliação de construtibilidade adequado, como pela necessidade de denso trabalho para orçamento baseado em um projeto.

A comparação entre edificações similares, salvo adaptações necessárias à consideração de um ou outro processo construtivo (redução de área interna, necessidade de revestimento, elementos de vedação e estrutura) permitiu que se observasse, sob o ponto de vista da construtibilidade, essa diferença, pois a avaliação de construtibilidade é ampla e variações em outras características poderiam dificultar a análise comparativa, pela compensação de indicadores na composição do indicador parcial de *design* de produto.

Cabe salientar que a falta de comparativos custo-construtibilidade dificulta, inclusive, estabelecer quais seriam limites em que maior construtibilidade influiria em menores custos, e quando essa relação poderia não ser válida. Soluções de maior nível de padronização e industrialização (e de maior construtibilidade), geralmente de maior custo, ainda não foram objeto de estudo a fim de estabelecer tais comparativos e agregar à presente pesquisa.

Faz-se necessário, ainda, avaliar o projeto de HIS nas etapas de planejamento da produção e execução. O sistema de avaliação utilizado, o SICC, permite avaliações parciais, e no presente trabalho, em nível de *design* do produto, avaliou-se a construtibilidade dentro de critérios pertinentes à etapa de estudos preliminares, e que possuem influência em etapas futuras de um empreendimento, como a execução. O sistema estrutural e de vedação, por exemplo, influi na construtibilidade de execução, mas se refere a uma decisão tomada ainda no estágio de *design* de produto, sendo, portanto, avaliada nesse estágio. Os demais indicadores e indicadores parciais podem ser levantados à medida que o empreendimento de construção avança.

Como recomendação para estudos futuros, essa pesquisa pode ser ampliada, com a consideração de outras plantas e formatos de HIS, com comparativos feitos utilizando um mesmo processo construtivo. Outro estudo adicional possível consistiria em uma análise temporal de orçamentos. Haja vista que a avaliação de construtibilidade seria mantida, os insumos envolvidos nos diferentes processos construtivos (os quais apresentam diferenças, como por exemplo, demanda de concreto e blocos estruturais cerâmicos) poderiam afetar a relação custo-construtibilidade, tendo evoluções distintas com o passar do tempo.

A presente pesquisa contribuiu na resposta à pergunta pesquisa proposta no começo deste artigo (*obter melhor construtibilidade implica em obter também o menor custo de um projeto?*), e os estudos futuros indicados, com uma maior gama de variações e considerações, permitirão responder tal pergunta de maneira ampla e completa.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001, e com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

ABREU, J.P.M. **Desenvolvimento de um sistema de indicadores de construtibilidade para empreendimentos residenciais multifamiliares de padrão popular**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) - Construction Management Committee of the ASCE Construction Division. Constructability and constructability programs: white paper. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.117, n.1, p. 67-89, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios — Procedimento — Versão Corrigida 2**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho / Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Obras públicas: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras públicas**. / Tribunal de Contas da União. – 3. ed. Brasília: TCU, SecobEdif, 2013a.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão Nº 2622/2013 – TCU – Plenário**. Processo n. TC 036.076/2011-2. 2. Grupo I; Classe de Assunto: VII – Administrativo. 3. Interessado: Tribunal de Contas da União. 4. Órgão: Tribunal de Contas da União. 5. Relator: Ministro-Substituto Marcos Bemquerer Costa. 25 de setembro de 2013. Acórdão do Tribunal de Contas da União, Brasília, p. 140-143, 2013b.

CAIXA. **Selo Caixa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

CAIXA. **Sinapi: Custos de Composições Analíticas MT 10/2020**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 05 dez. 2020.

CAIXA. **Habitação de Interesse Social**. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_de_repasso_do_OGU/habitacao_interesse_social.asp. Acesso em 19 jan. 2021.

DEZEN-KEMPTER, E.; ANHAIA, J.C.; TERRA, L.O. Questões de localização e conectividade na avaliação de qualidade urbana de habitação de interesse social em Indaiatuba. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**. v. 6, n. 3, p. 155-168, set. 2015.

FADOUL, Abdelaziz; TIZANI, Walid; OSORIO-SANDOVAL, Carlos Arturo. A Knowledge-Based Model for Constructability Assessment of Buildings Design Using BIM. *In: International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 18, 2020. **Anais [...]** 2021, p. 147-159.

FELISBERTO, A.D. **Contribuições para elaboração de orçamento de referência de obra pública observando a nova árvore de fatores do SINAPI com BIM 5D - LOD 300**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

FERREIRA, F.L. **Mindset de Crescimento como modificador do Potencial empreendedor: um estudo experimental em Startups**. 2018. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro de Pós-Graduação em Pesquisa e Administração, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

FRANCISCO A.M. *et al.* Planta Popular Paulista: tipologias contemporâneas para habitação de interesse social. **Revista Ciência em Extensão**. v.9, n.3, p.190-191, 2013.

FREIRE, F.; PUGLIESI FILHO, P.; ALBESSÚ, N. Alvenaria estrutural em edifício de 24 pavimentos. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 90, p. 26-33, abr.-jun. 2018.

JARKAS, A.M. Analysis and Measurement of Buildability Factors Affecting Edge Formwork Labour Productivity. **Journal of Engineering Science and Technology Review**. v. 3, n. 1, p. 142-150, 2010.

João Paulo Maciel de Abreu
joaopaulojpma@hotmail.com

Leonardo de Aguiar Corrêa
leco.aguiarcorrea@gmail.com

Fernanda Fernandes Marchiori
fernanda.marchiori@ufsc.br

Luiz Augusto Ferreira Pieniz
lpieniz@hotmail.com

KANNAN, R.; SANTHI, H. Automated constructability rating framework for concrete formwork systems. **Asian Journal of Civil Engineering**. n.19, p. 387-413, abr. 2018.

LAM, P.T.I. *et al.* Constructability Rankings of Construction Systems Based on the Analytical Hierarchy Process. **Journal of Architectural Engineering**. v. 13, n. 1, p 36-43, 2007.

LIMA, F.J.M. de, *et al.* Pelas Cidades: apoio à elaboração de plano local de habitação de interesse social de Pequeri, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência em Extensão**. v.8, n.3, p. 308-311, 2012.

LIMA, J.R.P. de; COSTA, C.P. Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 90, p. 21-25, abr.-jun. 2018.

MARANHÃO, G.M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MARCHIORI, F.F. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NARLOCH, T.B. **Modelo indicador da construtibilidade a partir da análise geométrica do projeto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RUSSELL, J.S.; GUGEL, J.G. Comparison of Two Corporate Constructability Programs. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.119, n.4, p. 769-784, 1993.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SAFFARO, F.A.; SANTOS, D. de G.; HEINECK, L.F..M. Uma proposta pra a classificação de decisões voltadas à melhoria da construtibilidade. *In*: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 24, 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABEPRO, 2004. p. 2702-2710. Disponível em: http://www.infohab.org.br/acervos/sobre-autor/codigo_biblio/35091/cod/1#abstract. Acesso em 01 fev. 2019.

TRIANA MONTES, M.A. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de Interesse Social considerando mudanças climáticas**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós- -Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

Notas

ⁱ Padrão PP.B foi proposto pela norma ABNT NBR 12721:2006 (ABNT, 2007)