

## SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM GESSO: SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO SOCIAL

Maria Clara Kachan Bordignon (IC) e Sasquia Hizuru Obata (Orientadora)

**Apoio:** PIBITI Mackenzie

### RESUMO

Despertada pela problemática da habitação no Brasil e pelo potencial de transformação social e ambiental da sustentabilidade, esta pesquisa compara projetos de habitação de interesse social construídos em blocos de concreto e aqui propostos em sistemas construtivos em gesso: alvenaria em blocos de fosfogesso, alvenaria em blocos de gesso e *drywall*. A análise comparativa foi feita a partir de indicadores socioeconômicos, ambientais e projetuais. Os socioeconômicos foram o custo e o tempo de obra, os ambientais, a quantidade de resíduos gerada, a energia incorporada da construção e as suas pegadas de carbono e hídrica, e os projetuais, a área útil das habitações e a facilidade de mudanças. Respalgadas nos dados coletados, foram atribuídas notas gerais a cada um dos projetos. A partir de tais notas e dos atuais prognósticos sobre habitação social, meio ambiente e construção civil e arquitetônica nacionais, originou-se uma inquietação. Baseada nela, foi tecida uma conclusão a respeito da falta de alicerce que a comunidade científica enfrenta para combater o déficit habitacional de maneira sustentável.

**Palavras-chave:** Habitação social. Avaliação de sustentabilidade. Sistemas construtivos em gesso.

### ABSTRACT

This project is motivated by the housing question in Brazil and the potential of social and environmental transformation of sustainability. It compares social housing built with concrete blocks and the hereby proposed plaster building systems: masonry with phosphogypsum blocks, masonry with gypsum blocks and drywall. The comparative analysis was performed using socioeconomic, environmental, and project-based indicators. The socioeconomic indicators were chosen to be the resources and time spent in a construction; as for the environmental the amount of residue generated by the project, the power incorporated during construction, and the hydric and carbon footprints of the building; finally, the project-based indicators were the usable area of the dwellings and the ease to perform adjustments. Based on the collected data, each project was assigned a score. These scores together with the current predictions about social housing, the environment, and housing engineering and architecture raised some concerns. This led to a conclusion regarding the lack of a foundation for the scientific community to combat housing deficit in a sustainable fashion.

**Keywords:** Social habitation. Sustainability assessment. Plaster construction systems.

## 1. INTRODUÇÃO

O problema da habitação social é um dos mais notáveis do Brasil. De acordo com a Fundação João Pinheiro (2018), em 2015 o déficit habitacional do país era de 6,35 milhões. Diversas variáveis o compõem, dentre elas imóveis com valores de aluguel que representam ônus significativo na renda familiar. Estes, de acordo com a Fundação, equivalem a 50% do déficit habitacional do país, demonstrando que mais de 3 milhões de famílias brasileiras submetem-se a aluguéis caros por não terem realizado o “sonho da casa própria”.

Acredita-se em dois impasses que a habitação social enfrenta: o descomprometimento da arquitetura com programas sociais e a submissão desses projetos ao sistema construtivo de alvenaria em blocos de concreto. No Brasil, são recorrentes as construções de cunho social que não consideram questões de sustentabilidade e conforto ambiental, campos de conhecimento que deveriam estabelecer premissas projetuais. Além disso, são poucas as alternativas habitacionais e urge a adoção de novos materiais e técnicas, visando a uma arquitetura reparadora e sustentável. Para Edwards (2009) a arquitetura social tem ignorado o potencial que um bom projeto e as novas tecnologias têm para solucionar problemas sociais.

Um material em ascensão com grande potencial construtivo e sustentável é o gesso, proveniente do mineral gipsita. Para produzi-lo, o mineral é submetido a um processo de desidratação denominado calcinação. A gipsita é detectada em abundância no Brasil, estima-se que as suas reservas totalizem 450 Mt (DNMP, 2001; ANM, 2018).

O gesso também ocorre como fosfogesso, um subproduto da fabricação de fertilizantes. São produzidas anualmente no mundo 150 Mt de fosfogesso. Esse volume gerado não intencionalmente e a falta de uma demanda proporcional, acarretam uma problemática, que é o armazenamento inadequado do material, no próprio local de produção e ao ar livre (COTA et al., 2012; OLIVEIRA, 2006). Portanto, em um país como o Brasil, fortemente voltado para o agronegócio, encontrar cada vez mais usos para o fosfogesso pode equilibrar sua produção e demanda e, assim, diminuir os riscos de contaminação ambiental e substituir o uso de outras matérias-primas já muito exploradas.

Outro fato que justifica o uso do gesso é a sua capacidade de ser reciclado. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas na NBR 10004 (2004) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente na resolução n. 469 – Conama (BRASIL, 2015) – o gesso e o fosfogesso, enquanto resíduos da construção civil, são classificados como reutilizáveis a partir de processos industriais.

De todos os recursos naturais utilizados pelo homem, 50% deles são destinados à construção civil (EDWARDS, 2009). Logo, tornam-se necessárias cada vez mais pesquisas que visem tornar essa indústria menos nociva, propondo alternativas sustentáveis aos

tradicionais sistemas construtivos. Serão propostas e analisadas, do ponto de vista da sustentabilidade, três tecnologias em gesso: o sistema drywall; um sistema construtivo modular em blocos de gesso desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba; e os blocos de fosfogesso encaixáveis, criados no Instituto de Física de São Carlos, da USP.

O sistema drywall é um método construtivo a seco não estrutural, utilizado apenas para vedação e compartimentação de espaços internos por meio de montantes metálicos e placas de gesso acartonado. O sistema construtivo em blocos de gesso aspira à substituição de blocos de concreto e cerâmicos por unidades que agridam menos o meio ambiente e possuam um desempenho análogo ao deles. Os blocos de gesso criados propiciam à obra agilidade, rapidez e limpeza, pois com apenas três fiadas, já se atinge a altura de uma parede (HABITARE, 2009; RODRIGUES et al., 2017). O terceiro método que será ponderado é a alvenaria estrutural em blocos de fosfogesso desenvolvidos pelo Prof. Dr. Milton Ferreira de Souza. Tais blocos, 100% recicláveis, foram confeccionados a partir do método UCOS (Umedecimento, Compactação e Secagem), criado por Souza, que resultada em elementos de elevada resistência mecânica (KANNO, 2009). O assentamento desses blocos de fosfogesso se dá pelo encaixe entre eles e cola branca acrílica de união, possibilitando um sistema de construção multifamiliar (INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS, 2013).

A construção multifamiliar também será explorada na pesquisa, uma vez que serão considerados projetos frutos da autoconstrução.

Com essa pesquisa, desbravar-se-ão criticamente os ganhos sustentáveis que cada método construtivo em gesso proporciona quando comparados entre si e com os sistemas de alvenaria estrutural tradicionais através de indicadores socioambientais. A pesquisa está calcada na luta para oferecer uma moradia de qualidade a todos, procurando aprimorar, remodelar e otimizar os sistemas hoje consolidados, mas que requerem melhorias. Acredita-se que é usufruindo da sustentabilidade como instrumento de justiça social, que a vida daqueles que são vítimas do déficit habitacional brasileiro venha a ser melhor e mais digna.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O livro “O guia básico para sustentabilidade” (2009), de Brian Edwards, apresenta-se como uma importante fonte para o estudo da sustentabilidade, de suas premissas e formas de aplicação. Ele revela o impacto que o estilo de vida humano gera sobre o meio ambiente. O crescimento da população e das cidades impacta diretamente na indústria da construção civil, que Edwards cita como uma das atividades menos sustentáveis do planeta. Diante disso, são pontuados alguns benefícios que o ambientalismo gera para esse campo: redução de custos; redução de riscos ambientais; e aumento da produtividade. O autor ainda discute acerca das responsabilidades que o desenvolvimento sustentável tem, estabelece seus três

pilares – social, ambiental e tecnológico –, e observa a relação entre eles e a arquitetura. Aponta que um dos problemas da arquitetura atual é o seu descomprometimento com os três eixos e busca apenas pelo avanço tecnológico. Contudo, ainda se observa o uso incipiente de tecnologias avançadas e alternativas aos convencionais métodos construtivos por parte da arquitetura social, que trabalha em cima de questões sociais, mas não busca trazer avanços. No livro é afirmado que o desenvolvimento sustentável deve revitalizar a arquitetura, mas também conceder uma nova base ética para a atividade arquitetônica.

Tomando partido do exposto por Edwards e considerando o cenário perturbado de habitação social no Brasil, Mariana Veras disserta sobre “Sustentabilidade e habitação social na cidade de São Paulo: análise de obras” (2013), suportando parte da elaboração da presente pesquisa. Primeiramente, é feita uma análise, do ponto de vista ambiental, da relação entre o meio ambiente e as atividades antrópicas, ressaltando como estas intensificam veementemente o aquecimento global. Em seguida discute o que é o desenvolvimento sustentável, elucidando seus princípios e diretrizes pautados no ambientalismo, economia, política e em questões socioculturais. São trazidos dados que ressaltam a importância do uso de novas técnicas para a execução de edificações com conforto ambiental, eficiência energética, economia e que não agridam a natureza, como a sustentabilidade deve ser inserida como premissa nos projetos, instaurando novos fundamentos básicos para arquitetura e materialidade.

No ano de 1992, no Rio de Janeiro, foi assinada por 179 países durante a Rio 92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) – a Agenda 21. Ela representa o “compromisso político no nível mais alto no que diz respeito a desenvolvimento e cooperação ambiental” (p. 5), estabelecendo diretrizes para a construção de uma sociedade sustentável, que protege o ambiente, luta por justiça social e busca pela máxima eficiência econômica. Na Agenda, são apresentadas diversas preocupações. Dentre elas estão os atuais padrões de consumo, a proteção da atmosfera, o manejo de resíduos sólidos e a importância da comunidade científica e tecnológica para alcance de uma sociedade mais consciente, engenhosa e idônea. A Agenda coloca como insustentáveis e desequilibrados os atuais padrões de produção e consumo, responsáveis pelo agravamento da pobreza e dos desequilíbrios ambientais. Ela urge, no Capítulo 4, pela redução do uso de energia, diminuição do consumo de matérias primas e estímulo à maior eficiência no uso de tais recursos. No Capítulo 9, sobre proteção da atmosfera, é exposta uma “preocupação com as mudanças do clima e a variabilidade climática, a poluição do ar e a destruição do ozônio” (p. 92), reiterando a necessidade de redução dos efeitos nocivos do setor de energia. No Capítulo 21 é levantada a temática dos resíduos, enfatizando a importância de reduzi-los ao mínimo através da adoção de novos estilos de vida e padrões de produção sustentáveis. A

Agenda ainda chama atenção para o decisivo papel da comunidade científica, mas também dos agentes deliberadores, apontando que: “responsáveis por decisões devem proporcionar a necessária estrutura para a pesquisa rigorosa [...] e desenvolver simultaneamente meios pelos quais os resultados das pesquisas e as preocupações derivadas das conclusões sejam comunicados aos órgãos decisórios, de modo a relacionar da melhor maneira possível o conhecimento científico e tecnológico com a formulação de políticas e programas estratégicos” (p. 324) (CNUMAD, 1992).

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa pretende estabelecer uma comparação entre projetos em alvenaria estrutural, erguida com blocos de concreto, e uma adaptação deles, substituindo essa estratégia por sistemas construtivos em gesso. Em vista disso, a metodologia adotada na pesquisa é a de estudos de caso. A partir destes, foram elaboradas análises de cunho quantitativo – através do levantamento de dados – e qualitativo – apurando e refletindo em cima do que foi levantado –, responsáveis pelo argumento final a ser apresentado.

A escolha dos projetos estudados foi o primeiro passo da pesquisa. Ela foi guiada a partir de três premissas: seriam dois os objetos de estudo, visando a uma análise mais ampla e não exclusiva; estes deveriam ser projetos de habitações térreas e unifamiliares de interesse social bem sucedidas; e o sistema construtivo utilizado teria de ser alvenaria estrutural em blocos de concreto.

A pesquisa foi desenvolvida através do método BIM, *Building Information Modeling* (do inglês, Modelagem da Informação da Construção), compreendido no software escolhido para trabalho, o Revit. Em um só programa e processo foi reunida uma série de informações quantitativas a serem ponderadas.

Escolhidos os projetos de estudo e o programa em que a pesquisa seria desenvolvida, a etapa seguinte era o redesenho dos projetos originais no software. O objetivo com essa etapa era a compreensão apurada das arquiteturas e dos elementos que entrariam na comparação a ser desenvolvida. O resultado esperado com os redesenhos eram modelos virtuais simplificados e genéricos, independentes de terreno. Deles, o essencial era a extração de informações numéricas para levantamento de dados.

Modelados os projetos originais, iniciou-se os estudos de substituição para desenho dos projetos modificados. Primeiramente foram retomadas as características principais de cada um dos sistemas construtivos em gesso: alvenaria em blocos de fosfogesso; alvenaria em blocos de gesso; e *drywall*.

Foram, então, elaboradas plantas esquemáticas evidenciando quais paredes tinham função estrutural e quais não. Sobre tais plantas propôs-se as alternativas de substituição.

Em seguida, foram escolhidos os indicadores socioeconômicos, ambientais e projetuais sobre os quais a comparação da pesquisa se calcaria.

Após um estudo a respeito de tais indicadores e de suas unidades de medida, constatou-se a necessidade de fazer um levantamento de todos os materiais utilizados nos projetos originais e modificados.

Antes disso, foi necessário fazer uma caracterização deles, determinando suas dimensões, especificações e traços. Em tabelas construídas no Revit, aplicou-se esses dados em cima dos que o próprio software já havia levantado – volume de paredes, área de paredes, largura de portas e janelas – gerando, então, todas as quantidades de materiais utilizados.

Foram então calculados os valores numéricos que expressam cada um dos indicadores escolhidos para análise qualitativa dos projetos. Em seguida, foi feita uma reflexão em cima desses resultados, estabelecendo análises comparativas entre os projetos originais e os modificados.

Para análise geral dos projetos, foram elaborados gráficos qualitativos, com o objetivo de comparar de maneira geral os projetos originais e projetos modificados. A cada um dos indicadores de cada um dos projetos foi atribuída uma nota de 1 a 5, sendo 5 a melhor nota e 1 a pior. A nota 5 foi atribuída diretamente ao projeto com o melhor valor para o indicador, logo, a nota do projeto a ser comparado com este primeiro foi calculada através de princípios de proporcionalidade.

Atribuídas as notas por indicadores, estas mesmas foram somadas, gerando uma nota final por projeto. Em cima destes resultados, foi tecida uma conclusão.

#### **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

Os projetos estudados foram a Casa dos caseiros (HIS\_1) e a Habitação para todos (HIS\_2), ambos do escritório Arquitetura 24 7. A Casa dos caseiros foi projetada em 2012 e em 72 m<sup>2</sup> foram alocados pátio, cozinha, escritório, sala, banheiro e três dormitórios. Assim como a pesquisa, o projeto apresenta quebras de paradigma essenciais, como preocupações com conforto ambiental e a planta flexível. Da mesma maneira, a Habitação para todos, projetada em 2010, representa avanços importantíssimos no âmbito da moradia social. Em plantas de 53,10 a 61,65 m<sup>2</sup>, os arquitetos projetaram cozinha e lavanderia integradas, salas de jantar e estar em um mesmo ambiente, banheiro e dois dormitórios. O projeto é caracterizado pela sustentabilidade, bioclimatismo e flexibilidade.

Diante dessa característica flexível da distribuição programática dos projetos, a pesquisa tomou para estudo e análise apenas uma solução tipológica de cada um, solução esta que foi, então, redesenhada no Revit.

A etapa de redesenho foi importante, pois despertou uma reflexão a respeito do que poderia ser alterado em termos de método construtivo e quais seriam os processos. Concluiu-se, então, que gastos com fundação, coberturas, lajes em concreto, revestimento de áreas molhadas, emboço para fixação desses revestimentos e barras de aço em pilaretes, vergas e contravergas não entrariam na comparação, uma vez que não podem ser substituídos pelas alternativas determinadas ou não teriam seu valor alterado em função das mudanças.

A tabela 1 retoma as principais características dos sistemas construtivos em gesso estudados: blocos de fosfogesso, blocos de gesso e *drywall*. Feita ela, surgiram preocupações a serem consideradas: a modulação dos projetos originais não poderia ser drasticamente alterada; os materiais em áreas externas deveriam ser resistentes às intempéries climáticas; e as paredes estruturais deveriam continuar possuindo essa característica.

Tabela 1 - Características principais dos sistemas construtivos em gesso estudados

	Blocos de fosfogesso	Blocos de gesso MC, M10, M40	Drywall
Função estrutural	Sim	Sim	Não
Material para assentamento	Cola branca	Gesso cola	Montantes metálicos
Dimensões unitárias	15 x 30 x 11 cm	MC: 10 x 90 x 20 cm M10: 10 x 90 x 10 cm M40: 10 x 90 x 40 cm	A pesquisa utilizará paredes de 75 mm.
Resistência ao clima	Sim	Não	Não

Fonte: Elaborada pela autora com base em Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall, 2006; Habitare, 2009; informação verbal<sup>1</sup>; Instituto de Física de São Carlos, 2013; e Rodrigues *et al.*, 2017.

Concluiu-se que os blocos de gesso MC, M10 e M40 e o drywall só poderiam ser utilizados em áreas internas, mas que, visando ao ganho de área útil, todas as paredes internas seriam em *drywall* se possível. Logo, os blocos de gesso não estão na pesquisa.

As substituições iniciaram-se pela Casa dos caseiros, definindo as paredes externas e estruturais em blocos de fosfogesso e as paredes internas de vedação em *drywall*. Na Habitação para todos, a mesma solução foi estabelecida. A imagem 1 esclarece quais os sistemas construtivos adotados para as paredes dos projetos adaptados.

Imagem 1 – Plantas esquemáticas da HIS\_1 e da HIS\_2 evidenciando as mudanças construtivas propostas



Fonte: Elaborada pela autora.

<sup>1</sup> Informação concedida pelo Prof. Dr. Wellington Kanno, em junho de 2021.

A pesquisa considera apenas uma tipologia de bloco de fosfogesso, não havendo uma outra que se comporte como bloco canaleta. Em função disso e da incompatibilidade construtiva entre os tradicionais blocos canaleta de concreto e os blocos de fosfogesso utilizados, as vergas e contravergas dos projetos adaptados foram pensadas em concreto. Propõe-se que elas sejam pré-moldadas no canteiro de obras, utilizando formas de madeira para delimitar as suas laterais e os próprios blocos de fosfogesso para moldar seus fundos e topos, de maneira que eles sejam compatíveis com o sistema de encaixe dos blocos.

Feitas as substituições, foram escolhidos, com base nas preocupações levantadas pela Agenda 21, indicadores socioeconômicos, ambientais e projetuais sobre os quais as análises comparativas se embasariam. Os socioeconômicos serão o custo e o tempo de obra, os ambientais, a quantidade de resíduos gerada, a energia incorporada da construção e as suas pegadas de carbono e hídrica, e os projetuais, a área útil das habitações e a facilidade de mudanças.

Estudados os indicadores e suas unidades de medida, foi necessário fazer um levantamento total dos materiais utilizados nas obras, expressos para os projetos originais nas tabelas 2 e 3 e para os modificados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 2 - Levantamento de materiais HIS\_1 | Casa dos caseiros

Material	Índice de desperdício adotado	Cálculo para levantamento	Quantidade levantada	Quantidade levantada + índice de desperdício
Bloco de concreto	17 %	<i>Volume das paredes + Volume do bloco</i> Volume dos vazios foi desconsiderado. Volume de argamassa por bloco foi considerado, com espessura de 1 cm. O cálculo do volume do bloco foi a multiplicação: $(Altura + 0,01) \times Largura \times (Comprimento + 0,01)$	2559,00 blocos	2994,03 blocos
Bloco canaleta de concreto	17 %	$[(L_r \div 2,5) + L_r] \div Largura \text{ do bloco}$ $L_T = \text{Larguras totais dos vãos luz de todas as portas e janelas}$	64,45 blocos	75,40 blocos
Graute	5 %	<i>Área do furo do bloco</i> $\times$ <i>Altura da parede</i>	1,44 m <sup>3</sup>	1,51 m <sup>3</sup>
Argamassa	116 %	<i>Quantidade de blocos</i> $\times$ <i>Volume de argamassa por bloco</i>	2,11 m <sup>3</sup>	4,56 m <sup>3</sup>
Chapisco	21 %	<i>Área de paredes</i> $\times$ 0,005 Espessura de chapisco adotada = 0,5 cm	1,01 m <sup>3</sup>	1,22 m <sup>3</sup>
Reboco	13 %	<i>Área de paredes</i> $\times$ 0,005 Espessura de reboco adotada = 0,5 cm	1,01 m <sup>3</sup>	1,14 m <sup>3</sup>
Forro de PVC	5 %	<i>Área onde foi instalado forro de PVC</i>	55,17 m <sup>2</sup>	57,93 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborada pela autora com base em ABNT NBR 6118, 2014; Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – (PCC-EPUSP), 2003; Loja especializada em construções e decoração Madeira Madeira, 2021; e informação verbal<sup>2</sup>.

Tabela 3 - Levantamento de materiais HIS\_2 | Habitação para todos

Material	Índice de desperdício adotado	Cálculo para levantamento	Quantidade levantada	Quantidade levantada + índice de desperdício
Bloco de concreto	17 %	<i>Volume das paredes + Volume do bloco</i> Volume dos vazios foi desconsiderado. Volume de argamassa por bloco foi considerado, com espessura de 1 cm. O cálculo do volume do bloco foi a multiplicação: $(Altura + 0,01) \times Largura \times (Comprimento + 0,01)$	3550,31 blocos	4153,87 blocos
Bloco canaleta de concreto	17 %	$[(L_r \div 2,5) + L_r] \div Largura \text{ do bloco}$ $L_T = \text{Larguras totais dos vãos luz de todas as portas e janelas}$	128,27 blocos	150,08 blocos
Graute	5 %	<i>Área do furo do bloco</i> $\times$ <i>Altura da parede</i>	2,95 m <sup>3</sup>	3,10 m <sup>3</sup>
Argamassa	116 %	<i>Quantidade de blocos</i> $\times$ <i>Volume de argamassa por bloco</i>	3,41 m <sup>3</sup>	7,36 m <sup>3</sup>
Chapisco	21 %	<i>Área de paredes</i> $\times$ 0,005 Espessura de chapisco adotada = 0,5 cm	1,02 m <sup>3</sup>	1,24 m <sup>3</sup>
Reboco	13 %	<i>Área de paredes</i> $\times$ 0,005 Espessura de reboco adotada = 0,5 cm	1,02 m <sup>3</sup>	1,16 m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pela autora com base em ABNT NBR 6118, 2014; Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – (PCC-EPUSP), 2003; e informação verbal<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Informação concedida pela Prof.<sup>a</sup> Dra. Sasquia Hizuro Obata, em agosto de 2021.

Tabela 4 - Levantamento de materiais HIS\_1 Modificada | Casa dos caseiros

Material	Índice de desperdício adotado	Cálculo para levantamento	Quantidade levantada	Quantidade levantada + índice de desperdício
Bloco de fosfogesso	3 %	$Volume\ das\ paredes + Volume\ do\ bloco$ O volume dos vazios foi desconsiderado. O volume de cola branca utilizada para assentar os blocos também foi desconsiderado, uma vez que ele é insignificante enquanto volume de parede que significa.	5118,68 blocos	5272,24 blocos
Graute	5 %	$\begin{matrix} \text{Área do furo do bloco} \times \text{Altura da parede} \\ \text{Área da superfície superior do bloco} + \text{Área da menor superfície lateral do bloco} \\ \times 0,002 \times \text{Quantidade de blocos} \end{matrix}$	0,64 m <sup>3</sup>	0,67 m <sup>3</sup>
Cola branca comum	-	Estimou-se que a camada de cola branca acrílica necessária para assentar os blocos de fosfogesso é de 2 mm.	0,35 m <sup>3</sup>	0,35 m <sup>3</sup>
			350 L	350 L
Parede de <i>drywall</i> – Placa ST (standard)	5 %	A densidade utilizada para o cálculo da quantidade em kg foi 1,05 g/cm <sup>3</sup> . Área da parede construída em <i>drywall</i> .	367,50 kg	367,50 kg
Parede de <i>drywall</i> – Placa RU (resistente à umidade)	5 %	Área da parede construída em <i>drywall</i> .	29,11 m <sup>2</sup>	30,56 m <sup>2</sup>
Forro de <i>drywall</i>	5%	Área onde foi instalado forro de <i>drywall</i> .	55,17 m <sup>2</sup>	57,93 m <sup>2</sup>
Concreto produzido em obra	6 %	$[(L_T \div 2,5) + L_T] \times \text{Altura do bloco de fosfogesso} \times \text{Largura do bloco de fosfogesso}$ $L_T = \text{Larguras totais dos vãos luz de todas as portas e janelas}$	0,43 m <sup>3</sup>	0,46 m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall, 2006; ABNT NBR 6118, 2014; Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – (PCC-EPUSP), 2003; Henkel, 2020; informação verbal<sup>2</sup>; e Instituto de Física de São Carlos, 2013.

Tabela 5 - Levantamento de materiais HIS\_2 Modificada | Habitação para todos

Material	Índice de desperdício adotado	Cálculo para levantamento	Quantidade levantada	Quantidade levantada + índice de desperdício
Bloco de fosfogesso	3 %	$Volume\ das\ paredes + Volume\ do\ bloco$ O volume dos vazios foi desconsiderado. O volume de cola branca utilizada para assentar os blocos foi desconsiderado, uma vez que ele é insignificante enquanto volume de parede que ele significa.	5957,64 blocos	6 136,37 blocos
Graute	5 %	$\begin{matrix} \text{Área do furo do bloco} \times \text{Altura da parede} \\ \text{Área da superfície superior do bloco} + \text{Área da menor superfície lateral do bloco} \\ \times 0,002 \times \text{Quantidade de blocos} \end{matrix}$	0,99 m <sup>3</sup>	1,04 m <sup>3</sup>
Cola branca comum	-	Estimou-se que a camada de cola branca acrílica necessária para assentar os blocos de fosfogesso é de 2 mm.	0,41 m <sup>3</sup>	0,41 m <sup>3</sup>
			410 L	410 L
Parede de <i>drywall</i> – Placa RU	5 %	A densidade utilizada para o cálculo da quantidade em kg foi 1,05 g/cm <sup>3</sup> . Área da parede construída em <i>drywall</i> .	430,50 kg	430,50 kg
Concreto produzido em obra	6 %	$[(L_T \div 2,5) + L_T] \times \text{Altura do bloco de fosfogesso} \times \text{Largura do bloco de fosfogesso}$ $L_T = \text{Larguras totais dos vãos luz de todas as portas e janelas}$	3,41 m <sup>2</sup>	3,58 m <sup>2</sup>
			0,72 m <sup>3</sup>	0,77 m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall, 2006; ABNT NBR 6118, 2014; Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – (PCC-EPUSP), 2003; Henkel, 2020; informação verbal<sup>2</sup>; e Instituto de Física de São Carlos, 2013.

A partir desses valores, o primeiro indicador calculado foi o custo financeiro total de cada um dos projetos. Nesse custo, estão inseridos os gastos com materiais, caçambas para descarte de resíduos e serviços que exigem uma mão de obra específica, qualificada. Posto isso, é importante colocar que não foram considerados gastos com mão de obra geral, para levantamento das alvenarias, por exemplo, já que a pesquisa em questão tem como viés de estudo habitações de interesse social resultantes da autoconstrução.

Em todos os projetos, originais e modificados, considerou-se que o graute, o concreto, o chapisco e o reboco foram preparados em obra. Posto isso, os traços aplicados para cálculo da quantidade de materiais foram, respectivamente: 1 : 0,04 : 1,6 : 1,9 (cimento : cal : areia grossa : pedrisco); 1 : 2 : 3 (cimento : areia grossa : pedrisco); 1 : 3 (cimento : areia grossa); e 1 : 2 : 8 (cimento : cal : areia grossa) (IAU USP, 20--; SINAPI, 2017).

As tabelas 6 e 7 apresentam os valores totais gastos com materiais e mão de obra específicas em cada um dos projetos originais.

Tabela 6 - Levantamento de custos com materiais HIS\_1 | Casa dos caseiros

Material / Mão de obra	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade levantada	Custo total (R\$)
Bloco de concreto	Un.	3,08	2994,03 blocos	9 221,61
Bloco canaleta de concreto	Un.	2,74	75,40 blocos	207,35
Argamassa	m³	501,19	4,56 m³	2 285,43
Cimento	kg	0,52	37,00 kg	19,24
Areia grossa	m³	101,66	2,26 m³	229,75
Cal	kg	0,59	340,8 kg	201,07
Pedrisco	m²	84,29	0,63 m²	53,10
Forro de PVC	m²	57,72	57,93²	3 343,72
Mão de obra específica	Nesse projeto a única mão de obra específica cotada seria a da instalação do forro de PVC, que já está inclusa no preço do m² levantado acima.			
<b>Custo com materiais total da construção</b>				<b>15 561,27</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em SIURB, 2021.

Tabela 7 - Levantamento de custos com materiais HIS\_2 | Habitação para todos

Material / Mão de obra	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade levantada	Custo total (R\$)
Bloco de concreto	Un.	3,08	4153,87 blocos	12 793,92
Bloco canaleta de concreto	Un.	3,43	150,08 blocos	514,77
Argamassa	m³	501,19	7,36 m³	3 688,76
Cimento	kg	0,52	55 kg	28,60
Areia grossa	m³	101,66	2,10 m³	213,49
Cal	kg	0,59	400,00 kg	236,00
Pedrisco	m³	84,29	1,29 m³	108,73
<b>Custo com materiais total da construção</b>				<b>17 584,27</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em SIURB, 2021.

As tabelas 8 e 9 apresentam os valores totais gastos com materiais e mão de obra específicas em cada um dos projetos modificados<sup>3 4</sup>.

Tabela 8 - Levantamento de custos com materiais HIS\_1 Modificada | Casa dos caseiros

Material / Mão de obra	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade levantada	Custo total (R\$)
Bloco de fosfogesso	Un.	2,39	5272,24 blocos	12 600,65
Cola branca comum	10 kg	230,88	367,50 kg	8 484,84
Parede de drywall ST	m²	51,73	30,56 m²	1 580,87
Parede de drywall RU	m²	51,73	2,93 m²	151,57
Forro de drywall	m²	68,58	57,93 m²	3 972,84
Cimento	kg	0,52	11,30 kg	5,88
Cal	kg	0,59	9,60 kg	5,66
Areia grossa	m³	101,66	0,39 m³	39,65
Pedrisco	m³	84,29	0,51 m³	42,99
Mão de obra específica – Instalação paredes de drywall	m²	45,00	33,49 m²	1 507,05
A outra mão de obra específica utilizada é a de instalação do forro de drywall, que já está inclusa no preço do m² levantado acima.				
<b>Custo com materiais total da construção</b>				<b>28 392,00</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Gasômetro, 2021; Leroy Merlin, 2021; Magazine Luiza, 2021; Oliveira, 2019; SIURB, 2021; Sodimac, 2021; UFRGS, 20--; e Valério, 2019.

Tabela 9 - Levantamento de custos com materiais HIS\_2 Modificada | Habitação para todos

Material / Mão de obra	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade levantada	Custo total (R\$)
Bloco de fosfogesso	Un.	2,39	6 136,37	14 665,92
Cola branca comum	10 kg	230,88	430,50	9 939,38
Parede de drywall RU	m²	51,73	3,58	185,19
Cimento	kg	0,52	18,00	9,36
Cal	kg	0,59	16,00	9,44
Areia grossa	m³	101,66	0,63	64,04
Pedrisco	m³	84,29	0,83	69,96
Mão de obra específica - Instalação paredes de drywall	m²	45,00	3,58	161,1
A outra mão de obra específica utilizada é a de instalação do forro de drywall, que já está inclusa no preço do m² levantado acima.				
<b>Custo com materiais total da construção</b>				<b>25 104,39</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Gasômetro, 2021; Leroy Merlin, 2021; Magazine Luiza, 2021; Oliveira, 2019; SIURB, 2021; Sodimac, 2021; UFRGS, 20--; e Valério, 2019.

Nas tabelas é possível notar que os gastos dos projetos originais são substancialmente mais baixos do que os gastos dos projetos modificados. A HIS\_1 modificada gerou um custo 54,81% maior do que a original. Na HIS\_2 modificada, esse valor atingiu os 70,04%. Um

<sup>3</sup> Os blocos de fosfogesso ainda não são blocos de linha. Para levantamento de custos, foi necessária a busca por algum tipo de bloco de linha também alternativo, com um preço que excede o custo unitário dos tradicionais blocos de concreto e cerâmicos. O material escolhido foi o bloco sílico calcário.

<sup>4</sup> O cálculo feito para levantamento da quantidade de cola branca necessária é superestimado, uma vez que não é necessário aplicá-la em toda a superfície de assentamento do bloco. Posto isso, não será aplicado nenhum índice de desperdício.

montante que chamou muita atenção no levantamento dos projetos modificados, foi o da cola branca, uma vez que não era esperado um gasto tão grande com esse material.

Posto isso, conclui-se que a alvenaria em blocos de fosfogesso por não ser um produto explorado no mercado, todavia não é um sistema em sua máxima eficiência. Os blocos de fosfogesso foram cotados com um valor mais alto por não serem utilizados de maneira expressiva. Entretanto, em um cenário onde eles ocupam parte comovente da construção civil, é provável que o valor de venda dele abaixe e o material utilizado para assentá-los seja substituído por outro mais barato e eficaz, aprimorando cada vez mais esse tipo de alvenaria.

Para cálculo dos gastos com caçambas, primeiro foi necessário calcular o volume de resíduos gerados em cada uma das obras. Foi considerado resíduo todo o volume de material levantado através dos índices de desperdício considerados. Logo, tudo aquilo que é comprado para a construção do projeto, mas acaba sendo descartado devido aos imprevistos e às “deficiências inerentes aos processos e sistemas construtivos” (LEITE, 2001, p. 13; LEVY, 1997).

A HIS\_1 original gerou 10,25 m<sup>3</sup> de resíduos, enquanto a modificada gerou 5,17 m<sup>3</sup>. Considerando caçambas com capacidade para receber 4 m<sup>3</sup> de resíduos e que custam diariamente R\$ 334,59 (SIURB, 2021), o projeto original requer três caçambas, gerando um gasto de R\$ 1003,68, e o projeto modificado requer duas, refletidas em R\$ 669,18.

A Habitação para todos original gerou 11,01 m<sup>3</sup> de resíduos, enquanto a modificada gerou 1,15 m<sup>3</sup>. Considerando as mesmas caçambas da Casa dos caseiros, o projeto em blocos de concreto requer três, provocando um gasto de R\$ 1003,68, e o projeto modificado requer apenas uma de R\$ 334,59<sup>5</sup>.

Em ambos os estudos de caso, a quantidade de resíduos gerada na obra dos projetos modificados é expressivamente menor. A Casa dos caseiros quando construída em blocos de concreto gera 98,26% mais resíduos do que quando construída em blocos de fosfogesso e drywall. No caso da Habitação para todos a mesma situação se repete, mas com um valor ainda mais gritante: 957,39% a mais de resíduos são gerados quando adotada a tradicional alvenaria estrutural.

Somando os gastos com materiais, mão de obra específicas e aluguel de caçambas, a HIS\_1 original custa R\$ 16 564,95, a HIS\_1 modificada custa R\$ 29 061,18, a HIS\_2 original custa 18 587,95 e a HIS\_2 modificada custa R\$ 25 438,98. Ou seja, mesmo somando aos

---

<sup>5</sup> Em todos os casos, a quantidade de caçambas necessárias foi levantada a partir da divisão da quantidade em metros cúbicos de resíduos pelo volume da caçamba. Os valores foram todos arredondados para cima, considerando os índices de vazios dos materiais residuais.

gastos com matérias e mão de obra os gastos com caçambas – bem menores nos projetos modificados – as obras em blocos de fosfogesso e drywall são expressivamente mais caras.

Os próximos indicadores calculados foram a energia incorporada (EI) e a pegada de carbono. Antes dos resultados, é importante colocar que: todas as massas específicas adotadas foram retirados de manuais técnicos, fornecedores e trabalhos acadêmicos (ABAL, 2019; DISFOIL, 2021; GYPSUM, 2020; GYPSUM, 2020; ITAUÁRA, 2021; MEGABLOCOS, 2021; PEDREIRA E BRITAGEM SOL NASCENTE, 2021; PENTÁGONO, 2021; PLASBIL, 2021; TAHA e SEALS, 1991 *apud* OLIVEIRA, 2005); o levantamento dos materiais necessários para montagem das paredes e forro de drywall foi feito a partir de uma plataforma de cálculos e da empresa especializada Gypsum; posto que a cola branca é um acrílico misturado com água, os valores de EI e pegada de CO<sub>2</sub> unitários utilizados são os do acrílico (informação verbal<sup>6</sup>); e que a massa de rejunte utilizada para montagem do *drywall* é à base de cimento, logo os valores de EI e pegada de CO<sub>2</sub> unitários utilizados são os do cimento (KNAUF, 2020).

Além disso, também é importante esclarecer que as informações disponíveis virtualmente sobre os blocos de fosfogesso não são muitas. Posto isso, foi necessário encontrar algum material com um processo produtivo similar ao dele para uso de seus valores de EI e pegada de CO<sub>2</sub> unitários. O material escolhido foram os chamados “*compressed stabilized earth blocks*”, blocos de encaixe feitos a partir de subsolo, cimento e água, que são prensados em um molde e secos ao ar livre, sem qualquer tipo de queima, assim como os blocos de fosfogesso produzidos através do método UCOS. Nessa equivalência é importante elucidar que a energia incorporada para a produção do fosfogesso não compõe a EI total dos blocos de fosfogesso, visto que esta pertence ao processo de produção de ácido fosfórico para fertilizantes e que o fosfogesso é apenas um resíduo desse processo.

Primeiro calculou-se a energia incorporada. Ricardo Mateus expõe que ela “corresponde à quantidade de energia necessária para a [...] produção, transporte, aplicação na obra, manutenção e demolição” de materiais de construção (2004, p. 58). A pesquisa abordará os valores de energia incorporada levantados apenas durante a produção dos materiais. Posto isso, desconsiderar-se-á gastos com transporte, uma vez que os locais de produção não estão sendo levados em conta.

As tabelas 10 e 11 apresentam uma comparação entre a EI dos projetos originais e modificados da Casa dos caseiros e da Habitação para todos, respectivamente.

---

<sup>6</sup> Informação concedida pela Prof.<sup>a</sup> Dra. Sasquia Hizuro Obata, em agosto de 2021.

Tabela 13 - Levantamento de energia incorporada HIS\_1 | Casa dos caseiros | Original X Modificado

Material	EI unitária	Unidade	EI HIS_1 Original (MJ)	EI HIS_1 Modificada (MJ)
Bloco de concreto	1,00	MJ/kg	36 018,18	-
Bloco canaleta de concreto	1,00	MJ/kg	848,25	-
Argamassa	3906,00	MJ/m <sup>3</sup>	17 811,36	-
Forro de PVC	80,00	MJ/kg	7 368,70	-
Cimento	4,20	MJ/kg	155,40	47,46
Areia grossa	75,75	MJ/m <sup>3</sup>	171,19	29,54
Cal hidratada	3,18	MJ/kg	1081,45	30,53
Pedrisco	0,047	MJ/kg	35,53	28,76
Bloco de fofogesso	572,58	MJ/m <sup>3</sup>	-	11 176,24
Cola branca	80,00	MJ/kg	-	29 400,00
Chapa de gesso acartonado	6,10	MJ/kg	-	6 324,48
Guia de aço galvanizado	30,00	MJ/kg	-	309,60
Montante de aço galvanizado	30,00	MJ/kg	-	1006,20
Massa de rejunte	4,20	MJ/kg	-	98,45
Chapa de gesso acartonado	6,10	MJ/kg	-	2 075,22
Perfil metálico	33,80	MJ/kg	-	1 271,56
Cantoneira	33,80	MJ/kg	-	475,90
Arame	33,80	MJ/kg	-	57,79
Massa de rejunte	4,20	MJ/kg	-	85,13
<b>Energia incorporada total</b>			<b>63 490,06</b>	<b>52 416,86</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Graf e Tavares, 20--; e Garcia, 2014.

Tabela 14 - Levantamento de energia incorporada HIS\_2 | Habitação para todos | Original X Modificado

Material	EI unitária	Unidade	EI HIS_1 Original (MJ)	EI HIS_1 Modificada (MJ)
Bloco de concreto	1,00	MJ/kg	50 427,98	-
Bloco canaleta de concreto	1,00	MJ/kg	1 703,41	-
Argamassa	3906,00	MJ/m <sup>3</sup>	28 748,16	-
Cimento	4,20	MJ/kg	231,00	75,60
Areia grossa	75,75	MJ/m <sup>3</sup>	159,07	47,72
Cal hidratada	3,18	MJ/kg	1272,00	50,88
Pedrisco	0,047	MJ/kg	75,76	46,81
Bloco de fofogesso	572,58	MJ/m <sup>3</sup>	-	13 008,05
Cola branca	80,00	MJ/kg	-	34 440,00
Chapa de gesso acartonado	6,10	MJ/kg	-	263,52
Guia de aço galvanizado	30,00	MJ/kg	-	38,70
Montante de aço galvanizado	30,00	MJ/kg	-	116,10
Massa de rejunte	4,20	MJ/kg	-	10,54
<b>Energia incorporada total</b>			<b>82 617,38</b>	<b>48 097,92</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Graf e Tavares, 20--; e Garcia, 2014.

Os levantamentos apontam que as construções em bloco de concreto possuem mais energia incorporada do que as em blocos de fofogesso e *drywall*. Na Casa dos caseiros original, gasta-se 21,12% a mais de energia para produzir os materiais do que o que é gasto no projeto modificado. Na Habitação para todos, essa diferença é ainda maior, gasta-se 58,22% menos energia quando adotados os sistemas construtivos em gesso.

O seguinte levantamento feito foi o da pegada de carbono, um índice que, nesta pesquisa, vai corresponder à quantidade de gás carbônico emitida durante a produção dos materiais de construção estudados.

As tabelas 15 e 16 apresentam uma comparação entre a pegada de CO<sub>2</sub> dos projetos originais e modificados da Casa dos caseiros e da Habitação para todos, respectivamente.

Tabela 17 - Levantamento da pegada de carbono HIS\_1 | Casa dos caseiros | Original X Modificado

Material	Pegada de CO <sub>2</sub> unitária	Unidade	Pegada de CO <sub>2</sub> HIS_1 Original (kg)	Pegada de CO <sub>2</sub> HIS_1 Modificada (kg)
Bloco de concreto	145,56	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	2 527,70	-
Bloco canaleta de concreto	145,56	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	59,27	-
Argamassa	445,00	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	2 029,20	-
Forro de PVC	0,45	kg de CO <sub>2</sub> / kg	41,45	-
Cimento	41,96	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	1,29	0,39
Areia grossa	6,45	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	14,58	2,51
Cal hidratada	799,00	Kg de CO <sub>2</sub> / t	271,66	7,67
Pedrisco	17,46	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	10,99	8,9
Bloco de fofogesso	0,026	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	1 284,42
Cola branca	0,70	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	257,25
Chapa de gesso acartonado	0,45	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	466,56
Guia de aço galvanizado	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	15,07
Montante de aço galvanizado	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	48,97
Massa de rejunte	41,96	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	-	0,82
Chapa de gesso acartonado	0,45	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	153,09
Perfil metálico	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	54,92
Cantoneira	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	21,61
Arame	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	2,50
Massa de rejunte	41,96	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	-	0,71
<b>Pegada de CO<sub>2</sub> total</b>			<b>4 956,14</b>	<b>2 325,39</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Caldas, 2016; Cunha, 2016; Moncaster, 2018 *apud* Cabeza *et al*, 2021; Garcia, 2014; e Tavares, 2006 *apud* Piva, 2019.

Tabela 16 - Levantamento da pegada de carbono HIS\_2 | Habitação para todos | Original X Modificado

Material	Pegada de CO <sub>2</sub> unitária	Unidade	Pegada de CO <sub>2</sub> HIS_2 Original (kg)	Pegada de CO <sub>2</sub> HIS_2 Modificada (kg)
Bloco de concreto	145,56	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	3 326,05	-
Bloco canaleta de concreto	145,56	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	96,12	-
Argamassa	445,00	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	3 275,20	-
Cimento	41,96	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	1,92	0,39
Areia grossa	6,45	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	13,54	2,51
Cal hidratada	799,00	Kg de CO <sub>2</sub> / t	319,60	7,67
Pedrisco	17,46	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	22,52	8,90
Bloco de fofogesso	0,026	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	1 494,94
Cola branca	0,70	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	301,35
Chapa de gesso acartonado	0,45	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	19,44
Guia de aço galvanizado	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	1,88
Montante de aço galvanizado	1,46	kg de CO <sub>2</sub> / kg	-	5,65
Massa de rejunte	41,96	kg de CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	-	0,088
<b>Pegada de CO<sub>2</sub> total</b>			<b>7 054,95</b>	<b>1 842,82</b>

Fonte: Elaborada pela autora com base em Caldas, 2016; Cunha, 2016; Moncaster, 2018 *apud* Cabeza *et al*, 2021; Garcia, 2014; e Tavares, 2006 *apud* Piva, 2019.

Nas tabelas foi possível notar como as pegadas de carbono dos projetos originais são expressivamente maiores do que as dos modificados. Na HIS\_1, a pegada do projeto modificado corresponde à 46,91% da pegada do original. Na HIS\_2, 26,12% da pegada de CO<sub>2</sub> do projeto original é utilizada no modificado. Logo, mais um indicador em que os projetos originais se demonstram muito mais agressivos ao meio ambiente do que os modificados.

Por mais que a pesquisa não esteja estabelecendo uma comparação entre a HIS\_1 e a HIS\_2, durante a análise da energia incorporada e da pegada de carbono dos projetos, notou-se como o drywall é um método construtivo que requer muita energia e libera muito gás carbônico para a produção de suas peças. Na Casa dos caseiros quase todas as paredes internas são em drywall e a diferença de EI e pegada de CO<sub>2</sub> dos projetos original e modificado não é tão grande quanto a da Habitação para todos, onde há apenas uma pequena parede em drywall. Logo, do ponto de vista da EI e da pegada de CO<sub>2</sub>, o *drywall* é um sistema que, comparado à alvenaria em blocos de fofogesso, agride mais o meio ambiente.

O próximo indicador ambiental que seria calculado é a pegada hídrica, correspondente ao volume em litros de água necessário para a produção de um material. Durante a busca pelos gastos com água para a fabricação dos materiais, foi encontrado um limite para a pesquisa. Os dados disponíveis eram escassos e sobre poucos materiais. Nesse sentido, há uma fronteira importantíssima a ser desbravada para, então, contribuir com trabalhos como este e lapidar cada vez mais os processos construtivos e seus impactos no meio ambiente.

A respeito do tempo de obra gasto com os projetos originais e modificados, não foi feito um cálculo para contabilização de horas. Optou-se por destacar etapas dos processos construtivos adotados e refletir em cima do tempo demandado por elas.

Nos projetos em alvenaria de blocos de concreto é necessário o preparo da argamassa, o assentamento dos blocos atentando-se ao alinhamento e prumo, o preparo do graute, o preenchimento dos pilaretes, vergas e contravergas, o preparo e aplicação do chapisco e o preparo e aplicação do reboco. Nos projetos em alvenaria em blocos de fofogesso e *drywall*, para as alvenarias é necessário o preparo do concreto para vergas e contravergas, o molde desses elementos – etapa que se sugere fazer primeiramente para

otimização do tempo –, o assentamento com cola branca industrializada dos blocos encaixáveis, que não demandam atenção ao alinhamento e prumo, e o preparo do graute e o preenchimento dos pilaretes. Para o *drywall* foi considerada uma mão de obra específica, eficiente, responsável pela fixação das peças metálicas, fixação das placas de gesso acartonado e acabamentos.

Elencando tais processos, é possível notar que a alvenaria em blocos de concreto requer cinco procedimentos a mais do que a alvenaria em blocos de fosfogesso – preparo da argamassa e preparo e aplicação do chapisco e do reboco. Além disso, durante o assentamento dos blocos é necessário um cuidado muito maior – preocupando-se com o nível e o prumo –, cuidado este dispensável nas alvenarias de fosfogesso, visto que os blocos funcionam por encaixe. Agora comparando as alvenarias em concreto com o *drywall*, é possível notar novamente como o segundo requer muito menos etapas e, além disso, conta com uma mão de obra eficiente, que reduz o tempo de construção.

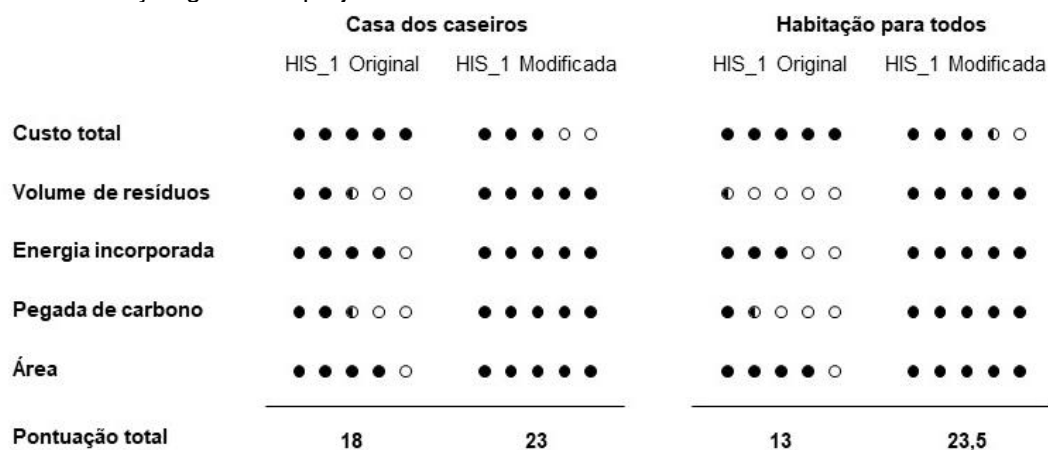
Posto isso, é possível concluir que os projetos em alvenaria em blocos de fosfogesso e *drywall* são construídos em um prazo de tempo menor do que os projetos de alvenaria em blocos de concreto.

O seguinte indicador calculado foi a área útil das habitações. As espessuras das paredes variaram em função das substituições propostas, alterando a área interna dos projetos modificados. Na Casa dos caseiros original a área útil total é de 59,60 m<sup>2</sup>, na modificada ela é de 60,82 m<sup>2</sup>. Na Habitação para todos original a área é de 55,81 m<sup>2</sup> e na modificada 57,53 m<sup>2</sup>. Notou-se que a adoção de sistemas construtivos em gesso no lugar da alvenaria em blocos de concreto, tanto no projeto da HIS\_1, quanto da HIS\_2, reflete em um aumento nas áreas dos ambientes. No primeiro, o crescimento é de 2,05%, expressos 1,22 m<sup>2</sup>. E no segundo, ele é ainda maior, de 3,01%, ampliando em 1,72 m<sup>2</sup> a área útil da casa.

O último indicador ponderado foi a facilidade de mudanças dos espaços. A escolha por esse indicador provém da necessidade de as habitações acompanharem a evolução familiar e os cenários sociais e urbanos. O crescimento de uma família, o aumento dos ruídos e poluição provenientes da rua, ou até mesmo o cenário pandêmico atual, são fatores que influenciam na distribuição programática de uma casa. Sendo assim, é importante viabilizar adaptações através de sistemas construtivos limpos, eficientes e rápidos. A partir de todo o levantamento exposto até agora, fica claro que, nestes termos, a adoção dos blocos de fosfogesso e do *drywall* é muito mais vantajosa do que a escolha pelos blocos de concreto. Os resíduos são em menor quantidade e o tempo de obra é mais curto.

Para resumir todo o exposto e comparar de maneira geral os projetos originais e modificados, foi elaborado o gráfico 1, que avalia, para todos os projetos, de 1 a 5 cada um dos indicadores levantados numericamente, sendo 1 a pior nota e 5 a melhor.

Gráfico 1 – Avaliação geral dos projetos estudados



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando o gráfico é possível notar que o único indicador numérico que aponta os projetos originais como mais vantajosos do que os modificados é o custo. Todos os outros parâmetros, incluindo aqueles que não foram avaliados numericamente – tempo e facilidade de mudanças –, apontam os projetos modificados como mais vantajosos. A pontuação total calculada reforça esse mérito, sendo nos dois casos maior nos projetos modificados, projetos esses mais envolvidos com as preocupações da pesquisa: habitação de interesse social; flexibilidade; e sustentabilidade.

Os resultados apresentados demonstram um comprometimento dos sistemas construtivos em gesso estudados – em especial a alvenaria em blocos de fosfogesso – com questões socioambientais. Benefícios do ambientalismo apontados por Edwards (2009), como a redução dos riscos ambientais e o aumento da produtividade, estão presentes nesses sistemas. Além disso, a adoção deles reforça o que foi apontado por Veras (2013), pois instaura novos fundamentos para arquitetura e materialidade sustentáveis, atenuando os impactos antrópicos sobre o meio ambiente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da pesquisa, de comparar através de indicadores socioeconômicos, ambientais e projetuais habitações de interesse social construídas em alvenaria estrutural em blocos de concreto e aqui propostas em sistemas construtivos em gesso, foi atingido. Entretanto, acredita-se que ainda há muitos indicadores a serem explorados para fortalecimento das ideias discutidas.

O levantamento de dados permitiu observar que de todos os indicadores analisados, apenas um deles – o custo – aponta a alvenaria em blocos de concreto como mais vantajosa do que a associação de alvenaria em blocos de fosfogesso e *drywall*. Logo, todos os outros parâmetros apontam o contrário, comprovando que os sistemas em gesso são os mais sustentáveis da pesquisa.

Ainda que proposto o *drywall* como sistema construtivo sustentável, faz-se importante reaver que os dados o colocaram como mais ambientalmente invasivo do que a alvenaria em blocos de fosfogesso. Logo, a tecnologia menos agressiva ao meio ambiente estudada foi a dos blocos de fosfogesso, que, contudo, ainda pode ser lapidada.

As conclusões estabelecidas, entretanto, deram origem a uma inquietação. Em um cenário repleto de perturbações socioambientais, não é compreensível a manutenção de sistemas construtivos poluentes, rígidos e que demandam muito tempo de construção, quando há alternativas mais limpas, ágeis e flexíveis. Acredita-se que esta situação e o alto custo de sistemas alternativos estão intrinsicamente ligadas a uma falta de incentivo e investimento em tecnologia, ciência e educação. Essa conjuntura torna ainda mais importante a retomada do que a Agenda 21 estabelece: é dever daqueles que tomam decisões oferecer alicerce para a comunidade científica, incentivando pesquisas e, a partir delas, formulando políticas e programas estratégicos.

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (Brasil). Agência Nacional de Mineração (org.). **Sumário Mineral Brasileiro 2018**: 37. ed. Brasília: DNMP, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro: Cenweb, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Características Químicas e Físicas**. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>. Acesso em: 16 ago. 20.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL (Brasil) (org.). **Manual de Projeto de Sistemas Drywall: São Paulo: Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas Para Drywall**, 2006. 86 p.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº 469, de 29 de julho de 2015. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção.

BRITAGEM SOL NASCENTE. **Produtos**. Disponível em: [http://britagemsolnascete.com.br/produtos\\_e\\_servicos](http://britagemsolnascete.com.br/produtos_e_servicos). Acesso em: 12 ago. 2021.

CABEZA, Luisa *et al.* **Embodied energy and embodied carbon of structural building materials**: worldwide progress and barriers through literature map analysis, 2021.

CALDAS, L. R. (2016). **Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO2 de uma Edificação Habitacional Unifamiliar de Light Steel Framing**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-09A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 174p.

CNUMAD. **Agenda 21**. Rio de Janeiro: Onu, 1992.

CUNHA, Iasmily Borba da. **Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, São Paulo, 2016.

DISFOIL. **Arame BWG 10 Ancora 5kg Galvanizado p/ Gesso Drywall**. Disponível em: <https://www.disfoil.com.br/arames-bwg-10-ancora-5kg-galvanizado-p-gesso-drywall>. Acesso em: 16 ago. 2021.

DNMP – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Balanço Mineral Brasileiro.

EDWARDS, Brian. O guia básico para a sustentabilidade. Londres: Gustavo Gili, 2009.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (Brasil). Déficit Habitacional no Brasil: Belo Horizonte, 2018. 78 p.

GARCIA, Katia Regina Punhagui. **Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas em Brasil mediante el incremento del uso de la madera**. 2014. 422 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Universidad Politécnica de Cataluña e Universidad de São Paulo, Barcelona, 2014.

GASÔMETRO MADEIRAS. **Cola Branca PVA Extra 10 Kg Cascorez - Henkel**. Disponível em: <https://www.madeirasgasometro.com.br/cola-branca-pva-cascorez-extra-10-kg-henkel/p>. Acesso em: 5 ago. 2021.

GYPsum. **Chapa Gypsum ST - Standard**. São Paulo: Gypsum, 2020.

GYPsum. **Chapa Gypsum RU – Resistente a umidade**. São Paulo: Gypsum, 2020.

GRAF, Helena; TAVARES, Sergio. Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial. 20--. 10 f. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 20--.

HABITARE: Programa de Tecnologia de Habitação. Rio de Janeiro: Finep, 2009.

HENKEL. **FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**. São Paulo: Henkel, 2020.

IAU-USP. **Chapisco**. Disponível em: [https://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/guiaceramica-completo/02/content/02050202\\_chapisco.htm](https://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/guiaceramica-completo/02/content/02050202_chapisco.htm). Acesso em: 20 jul. 2021.

INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS (São Carlos). Universidade de São Paulo. Novo material desenvolvido no IFSC promete revolucionar construção civil. 2013.

ITAUÁRA. **Bloco de concreto 14x19x39**. Disponível em: <https://www.itauara.com.br/bloco-de-concreto-14x19x39-detalhes-e-valores/>. Acesso em: 12 ago. 2021.

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130p. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

KANUF. **Knauf AMF**. São Paulo: 2020.

KANUF. **Massa para Juntas e Superfície Branca AQUAPANEL**. São Paulo: 2020.

KANUF. **Perfis Knauf**. São Paulo: 2020.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEROY MERLIN. **Cola Branca Cascorez Extra Henkel 10Kg**. Disponível em: [https://www.leroymerlin.com.br/cola-branca-cascorez-extra-henkel-10kg\\_87966795](https://www.leroymerlin.com.br/cola-branca-cascorez-extra-henkel-10kg_87966795). Acesso em: 5 ago. 2021.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola politécnica – Universidade de São Paulo.

MADEIRA MADEIRA. **Forro de PVC**. Disponível em: <https://www.madeiramadeira.com.br/forro-de-pvc-polifort-8mm-x-20cm-x-3m-m2-21115.html>. Acesso em: 15 ago. 2021.

MAGAZINE LUIZA. **Cola Branca Pva Cascola Cascorez Extra 10Kg - Alba**. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/cola-branca-pva-cascola-cascorez-extra-10kg-alba/p/ehdgg8gddf/pa/crla/>. Acesso em: 5 ago. 2021.

MEGABLOCOS. **BLOCOS DE CONCRETO**. Rio de Janeiro: Megablocos, 2021.

MATEUS, Ricardo. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2004.

OLIVEIRA, Kerley Alberto Pereira de. **Aplicação do fosfogesso na agricultura do Cerrado e suas implicações radiológicas**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2008.

OLIVEIRA, Renato Breno Xavier de. **COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE ALVENARIA CONVENCIONAL E DRYWALL, NA VEDAÇÃO INTERNA DE RESODÊNCIA POPULAR UNIFAMILIAR**. 2019. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

OLIVEIRA, Shirley Minnel Ferreira de. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de fosfogesso e cal para utilização na construção rodoviária**. 2005. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PCC EP USP. **Perdas de Materiais**: na construção civil. São Paulo: SENAI, 2003.

PENTÁGONO. **Bloco estrutural 14x19x39.** Disponível em: <http://blocospentagono.com.br/bloco-estrutural.php?id=bloco-estrutural-14x19x39>. Acesso em: 12 ago. 2021.

PIVA, Giulianna Ody. **Sustentabilidade na construção civil:** avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de co2 em edificação histórica de origem portuguesa e contemporânea. 2019. 146 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio Sinos, São Leopoldo, 2019.

PLASBIL. **Ficha técnica:** linha tradicional. Tapejara: Plasbil, 2021.

RODRIGUES, Christiane Cavalcanti et al. Modelagem computacional em plataforma BIM de um protótipo habitacional com blocos de gesso. *InterScientia*, João Pessoa, v. 5, n. 1, p. 129-142, 13 out. 2017.

SINAPI. **Graute e Armação.** São Paulo: Caixa, 2017.

SINAPI. **Revestimentos.** São Paulo: Caixa, 2018.

SINAPI. **Verga, contraverga, fixação de alvenaria de vedação e cinta de amarração de alvenaria.** São Paulo: Caixa, 2017.

SODIMAC. **Cascola Cascorez Extra Balde 10Kg Branco.** Disponível em: <https://www.sodimac.com.br/sodimac-br/product/614392/cascola-cascorez-extra-balde-10kg-branco/614392/>. Acesso em: 5 ago. 2021.

UFRGS. **Blocos e Tijolos Sílico-Cálcareos.** Disponível em: [https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/blocos\\_calcareos.php#caracteristicas](https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/blocos_calcareos.php#caracteristicas). Acesso em: 12 ago. 20--.

TABELA DE CUSTOS: INSUMOS, 2021, São Paulo. **Data-base: Janeiro de 2021.** São Paulo: Siurb, 2021.

VALERIO, A. D.T.C. **Panorama atual do uso do sistema de drywall para edifícios residenciais.** 2019. 96p. Especialização Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

VERAS, Mariana Ribeiro. Sustentabilidade e habitação de interesse social na cidade de São Paulo: análise de obras. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

**Contatos:** [mariasbordi@gmail.com](mailto:mariasbordi@gmail.com) e [sasquia.obata@mackenzie.br](mailto:sasquia.obata@mackenzie.br)