



## Avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social a partir da especificação de materiais e elementos da edificação

 Michele Tereza Marques Carvalho<sup>1</sup>,  Lucas Rosse Caldas<sup>2</sup>,  Rosa Maria Sposto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD - University of Brasília – UnB. Brasília, Distrito Federal – Brazil. [micheletezeza@unb.br](mailto:micheletezeza@unb.br)

<sup>2</sup>MSc - University of the State of Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – Brazil. [lrc.ambiental@gmail.com](mailto:lrc.ambiental@gmail.com)

<sup>3</sup>PhD - University of Brasília – UnB. Brasília, Distrito Federal – Brazil. [rmsposto@unb.br](mailto:rmsposto@unb.br)

### Cite como:

Carvalho, M. T. M., Caldas, L. R., & Sposto, M. R. (2020). Avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social a partir da especificação de materiais e elementos de edificação. *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 9(1), 1-25, e17155. <https://doi.org/10.5585/geas.v9i1.17155>.

### Resumo

**Objetivo do estudo:** Este trabalho tem como objetivo dar continuidade ao desenvolvimento e aplicação da ferramenta para análise de sustentabilidade de projetos de habitações de interesse social (HIS), denominada MASP-HIS, que foi aplicada em alguns elementos deste tipo de edificação.

**Metodologia/abordagem:** Os critérios elaborados para essa avaliação têm como base os aspectos ambientais, socioculturais e econômicos, a partir dos quais é possível avaliar o projeto completo e também as especificações dos sistemas de uma habitação isoladamente. A avaliação foi realizada para um estudo de caso.

**Originalidade/Relevância:** O trabalho apresenta uma ferramenta versátil e adaptável a diferentes projetos de HIS. Ela tem o potencial de avaliar sistemicamente diferentes aspectos de sustentabilidade (ambiental, sociocultural e econômico), levando em conta a diversidade dos materiais e elementos construtivos empregados no projeto.

**Principais resultados:** Podem ser analisadas diferentes combinações dos materiais, componentes e elementos especificados. Foram desenvolvidos os sistemas de estrutura, cobertura e esquadrias.

**Contribuições teóricas/metodológicas:** O uso da ferramenta pode subsidiar e facilitar a especificação de projetos de HIS com critérios de sustentabilidade.

**Conclusão:** Ao final foi possível obter o índice de sustentabilidade global para diversas combinações de um projeto de HIS.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. HIS. Projetos. Ferramenta.

## Sustainability assessment of social housing by building elements and materials specification

### Abstract

**Objective of the Study:** The present paper aims to continue the development and application of the MASP-HIS tool for the sustainability analysis of social housing (SH) projects, which was applied to certain elements of this type of building.



**Methodology/Approach:** The criteria developed for this assessment are based on environmental, sociocultural and economic aspects. Thereby, it is possible to individually evaluate the complete project and the elements specifications of a building. A case study was evaluated.

**Originality/Relevance:** The work presents a versatile and adaptable tool to different SH projects. It has the potential to systematically assess different aspects of sustainability (environmental, sociocultural and economic). It considers the diversity of materials and construction elements used in the project.

**Main Results:** Different combinations of the specified materials, components and elements can be analyzed. Structural, roofing and frame elements were developed.

**Theoretical/Methodological Contributions:** The use of the tool can subsidize and facilitate the specification of SH projects attending sustainability criteria.

**Conclusion:** Ultimately, it was possible to obtain a global sustainability index for different combinations of an SH project.

**Keywords:** Sustainability. Social Housing. Project. Tools.

## Evaluación de la sostenibilidad de la vivienda social por meio de la especificación de materiales y elementos de la edificação

### Resumen

**Objetivo del estudio:** El presente documento tiene como objetivo continuar el desarrollo y la aplicación de la herramienta MASP-HIS para el análisis de sostenibilidad de proyectos de vivienda social (SH), que se aplicó a ciertos elementos de este tipo de edificios.

**Metodología/Enfoque:** Los criterios desarrollados para esta evaluación se basan en aspectos ambientales, socioculturales y económicos. De este modo, es posible evaluar individualmente el proyecto completo y las especificaciones de los elementos de un edificio. Se evaluó un estudio de caso.

**Originalidad/Relevancia:** El trabajo presenta una herramienta versátil y adaptable a diferentes proyectos de SH. Tiene el potencial de evaluar sistemáticamente diferentes aspectos de la sostenibilidad (ambiental, sociocultural y económica). Considera la diversidad de materiales y elementos de construcción utilizados en el proyecto.

**Resultados principales:** Se pueden analizar diferentes combinaciones de los materiales, componentes y elementos especificados. Se desarrollaron elementos estructurales, de cubierta y de marco.

**Contribuciones teóricas/metodológicas:** el uso de la herramienta puede subsidiar y facilitar la especificación de proyectos de SH atendiendo a criterios de sostenibilidad.

**Conclusión:** Finalmente, fue posible obtener un índice de sostenibilidad global para diferentes combinaciones de un proyecto SH.

**Palabras clave:** Sostenibilidad. Vivienda social. Proyecto. Herramientas.

### Introdução

O estudo da sustentabilidade justifica-se diante da realidade de que as futuras gerações do planeta sofrerão os impactos da contínua exploração de recursos naturais. Em



virtude disso, são necessárias diversas ações preventivas, como por exemplo, o desenvolvimento de diretrizes e bases metodológicas para avaliar o desempenho sustentável do projeto de habitações.

O setor da construção civil é apontado como um dos principais responsáveis por diversos impactos ambientais negativos. As habitações de interesse social (HIS) tiveram nos últimos anos um crescimento considerável, como resultado do financiamento de programas do Governo Federal, como o Minha Casa Minha Vida (MCMV), entre outros (Sposto & Paulsen, 2014).

Embora o Brasil esteja passando por uma crise política e econômica, que resultou diretamente na diminuição de parte do financiamento para este setor, ainda se espera um considerável crescimento a fim de atender o déficit habitacional existente no país.

A construção das HIS acarretará em um consumo dos recursos naturais e consequente produção de impactos ambientais negativos, necessitando, portanto, de formas de amenizar estes impactos, por meio de critérios de sustentabilidade.

O ciclo de vida de uma habitação envolve as seguintes etapas: planejamento, projeto, construção, uso e demolição. Do ponto de vista da sustentabilidade, as etapas de planejamento e projeto são as mais impactantes, pois é neste período inicial que são definidos os materiais e os componentes da habitação, o tipo de mão de obra, os custos e o cronograma, que impactarão nas etapas seguintes.

As considerações da sustentabilidade na concepção do projeto, incluindo as especificações, podem gerar uma HIS mais sustentável, já que são no início desse processo que podem ser alcançados resultados mais efetivos do ponto de vista do desempenho do produto final.

Além disto, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com o foco no sistema de vedações verticais ou envoltória, tendo como base principalmente a eficiência energética na fase operacional, apesar dos outros sistemas (estruturas, coberturas, esquadrias e outros) apresentarem uma importância grande em relação ao consumo de materiais e energia na fase de extração e fabricação, tipo de mão de obra utilizada nestes processos, ou até mesmo da economia na escolha do sistema, o que é fundamental quando se refere a habitações de interesse social.

No contexto, a pesquisa tem como problema: será, possível facilitar o processo de avaliação de sustentabilidade de projetos de habitações de interesse social, como foco na especificação de materiais e sistemas construtivos utilizando alguma metodologia ou ferramenta? A partir desse problema, o presente trabalho teve como objetivo a aplicação da Metodologia de Avaliação de Sustentabilidade de Projetos de Habitações de Interesse Social (MASP-HIS) para os sistemas estruturais, de esquadrias e de coberturas de um



projeto. Foram apresentados os resultados para o aspecto ambiental, econômico e social de diferentes combinações de esquadrias e alguns exemplos de combinações que podem ser realizadas pela metodologia MASP-HIS. Foram quantificadas as combinações possíveis e qual delas possui o maior indicador de sustentabilidade de projeto.

### **A sustentabilidade no setor da construção civil e da habitação de interesse social**

A indústria da construção civil é um dos setores da economia que produz bens, de grandes dimensões. Pode ser considerada a maior consumidora de recursos naturais em qualquer país, sendo responsável por parcela considerável do Produto Interno Bruto (PIB) das nações (Isaia, 2007). É frequentemente apontada como um das principais causadoras de impactos ambientais no mundo, como, por exemplo: exaustão dos recursos naturais, poluição atmosférica, aquática e subterrânea, degradação da paisagem natural, entre outros.

Algumas pesquisas têm verificado como empresas do setor da construção civil têm encarado o processo de inserção e transição, para um modelo mais sustentável. Macêdo e Martins (2015) avaliaram a percepção sobre a sustentabilidade urbana no contexto da construção civil de empresas construtoras localizadas em Campina Grande - PB, sob os pontos da qualidade de vida, legitimação de políticas públicas e fluxo de recursos e rejeitos. A pesquisa mostrou ações isoladas e pontuais, com foco na dimensão de qualidade de vida. No entanto, foi observado que o setor da construção civil na região não apresenta grandes obstáculos para adotar práticas consideradas mais sustentáveis. Teixeira, Zamberlam, Santos e Gomes (2016) investigaram como três empresas construtoras de Santa Maria – RS estão realizando a transição para uma gestão mais sustentável a partir de entrevistas com os diretores. Constataram-se algumas iniciativas das empresas, que variaram basicamente conforme suas políticas ambientais, a importância dada pela alta direção e o real envolvimento dos funcionários.

Outro tema que tem despertado o interesse do setor, é a proposição de indicadores de sustentabilidade, como pode ser verificado em estudos: a) internacionais, conforme apresentado por Heravi, Fathi, e Faeghi (2015), que investigaram e identificaram indicadores de sustentabilidade com base em critérios ambientais, sociais e econômicos, para as fases de construção, operação, manutenção e demolição de projetos de obras petroquímicas, por meio de questionários e Kylili, fokaides, e Jimenez (2016), que propuseram indicadores com base em critérios adicionais, além do ambiental, social e econômico, utilizando *Key Performance Indicators (KPI)* para mensurar a sustentabilidade de projetos de edificações, e b) como pesquisas nacionais, em projetos de edificações com princípios da sustentabilidade (Salgado, Chatelet, & Fernandez, 2012; Kowaltowski, Granja, Moreira, Silva & Pina, 2016).



No Brasil, são poucas as pesquisas voltadas para a proposição de indicadores de sustentabilidade para a indústria da construção civil, citadas a seguir.

Carvalho (2009) e Carvalho e Sposto (2012), que propuseram um indicador global de sustentabilidade de projetos e das especificações de sistemas de vedação vertical (fachadas e divisórias), com base em critérios ambientais, sociais e econômicos para habitações de interesse social.

Oliveira, Silva e Gomes (2013) propuseram indicadores de desempenho ambiental e econômico de projeto para o sistema de estruturas de concreto, porém, não abordaram critérios ligados aos aspectos sociais da sustentabilidade, tampouco, para outros sistemas da edificação.

Saade *et al.* (2014) desenvolveram indicadores denominados por eco-eficientes para os principais materiais de construção civil brasileiros, como blocos cerâmicos, telhas cerâmicas, areia, brita, aço, cimento e etc. Utilizaram como indicadores: energia incorporada, emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de água e emissão de compostos orgânicos voláteis.

Caldas e Carvalho (2018) propuseram um indicador de desempenho global que relaciona questões ambientais e de desempenho térmico e acústico para os principais sistemas de vedação vertical utilizados no Brasil, a fim de facilitar a tomada de decisão do projetista.

No aspecto ambiental e no de eficiência energética, várias pesquisas têm sido desenvolvidas, muitas delas referentes à avaliação do ciclo de vida de materiais, iniciadas principalmente a partir da crise do petróleo em 1970, e da necessidade de minimização do consumo de energia e dos impactos gerados pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) no mundo e no Brasil. Nos aspectos social e econômico, porém, isto não ocorre na mesma proporção, o que justifica a proposição de pesquisas de indicadores de sustentabilidade ambientais, sociais e econômicos com foco nas HIS brasileiras.

A habitação de interesse social (HIS) é a moradia adequada aos segmentos populacionais de renda familiar mensal de até três salários mínimos, localizadas em áreas urbanas e rurais (Brasil, 2015). A sua importância se deve ao déficit habitacional existente no país, englobando as unidades sem condições de serem habitadas como consequência da precariedade destas construções, como também as que sofreram desgaste da estrutura física e que devem ser repostas devido à necessidade do incremento do estoque (Fundação João Pinheiro, 2005). Dessa forma, espera-se um aumento deste tipo de edificações nas áreas urbanas brasileiras. De acordo com dados estatísticos da Fundação João Pinheiro (2016), o último déficit habitacional avaliado para o país, no ano de 2014, alcançou um total de aproximadamente seis milhões de habitações. O investimento governamental dos



últimos anos em programas sociais, como o programa “Minha Casa, Minha Vida”, ajudou a sanar esse déficit, no entanto, é difícil crer que o país está próximo de conseguir zerar o número de pessoas sem uma moradia digna.

Plessis (2002) caracteriza a HIS em países em desenvolvimento, como:

- Sobrecarga ou ausência quase que total de infraestrutura básica de serviços urbanos, como redes de água, esgoto e eletricidade, agravando os efeitos adversos ao meio ambiente, como poluição dos recursos hídricos e do solo, tornando o ambiente propício ao surgimento de doenças;
- Ocupações irregulares, sendo que grande parte delas se localiza em áreas de proteção ambiental, ou vulneráveis do ponto de vista ecológico;
- Baixa qualidade das construções, resultado da ausência de mão de obra qualificada e das diversas negligências durante a etapa de execução, além da falta de manutenção;

A problemática da HIS tem abrangência internacional, e embora cada país tenha problemas e desafios específicos, todos acabam por convergir no objetivo de produção de uma HIS mais sustentável. Em países mais desenvolvidos, isto ocorre por meio de legislação, guias orientativos e pesquisas para a sustentabilidade da produção desta habitação, como pode ser observado no Canadá (Mckay & Khare, 2004), em Portugal (Tolete, 2003) e na Eslováquia (Cervenová, 2005); em países em desenvolvimento, onde a demanda por habitações sociais é maior, não há como negar importância de se pensar na sustentabilidade, podendo ser citada a China (Chen, 2003), a Índia (Kumar, 2002) e o México (Noguchi & Velasco, 2005).

De acordo com Sedrez, Rosa e Sattler (2001), o projeto de uma HIS mais sustentável deve contemplar critérios relacionados ao conforto ambiental, a otimização da utilização dos recursos naturais e a priorização de sistemas construtivos e materiais locais. Bennett e Sattler (2004) levantaram alguns indicadores de sustentabilidade para HIS:

- Indicadores ambientais: coleta seletiva dos resíduos, tratamento de esgoto, áreas verdes públicas e produção comunitária de alimentos;
- Indicadores sociais: transporte público, segurança, telefones públicos, creches e centros de saúde;
- Indicadores culturais: alfabetização, proximidade da escola, diversão e lazer.



A seleção de materiais e componentes visando à redução do consumo de energia e outros recursos, das emissões de poluentes como o CO<sub>2</sub> e da toxidade devem ser uma das prioridades dos projetos das HIS. Por outro lado, não devem ser deixadas de lado questões relacionadas aos custos e aos impactos socioculturais destes materiais e componentes.

Dessa forma, planejamento e projetos adequados, com uma visão sistêmica, em que são pensados os diversos aspectos da sustentabilidade (ambiental, sociocultural e econômico) é um processo árduo, podendo ser facilitado com o uso de algumas metodologias de avaliação. A maioria destas metodologias refere-se à avaliação ambiental, sendo algumas delas citadas a seguir.

A metodologia de avaliação do desempenho ambiental aplicado ao setor da construção civil que vem sendo bastante difundida no Brasil e internacionalmente é a avaliação do ciclo de vida (ACV). Consiste na mensuração das entradas (consumo de matéria prima, energia) e saídas (emissões, resíduos, efluentes e etc.); ao longo do ciclo de vida de um produto ou processo e permite a avaliação do seu perfil ambiental (IBICT, 2015). Aplicada à edificação, possibilita mensurar os impactos ambientais desde a etapa de extração da matéria prima e materiais utilizados até a destinação final dos resíduos gerados na sua demolição.

Outra forma de mensurar o desempenho ambiental das edificações são os sistemas de certificação ambiental, presentes em diversos países europeus, além dos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão, Hong Kong e Brasil (Romero & Reis, 2012).

Segundo Wei, Ramalho e Mandin (2015), os sistemas de certificação ambientais mais difundidos no mundo são: o francês *Haute Qualité Environnementale* (HQE), o inglês *Building Research Establishment Environmental Assessment* (BREEAM) e o norte americano *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Todos estes sistemas de certificação trazem requisitos a serem atendidos pela edificação, sendo que muitos destes estão ligados à etapa de projeto (Salgado, Chatelet, & Fernandez, 2012). No Brasil, a metodologia francesa HQE foi adaptada, resultando na certificação Alta Qualidade Ambiental – AQUA (Buoro, Neto, Gonçalves, & Harris, 2015).

O atendimento destes requisitos e a obtenção de uma certificação ambiental não garante que a edificação seja sustentável, no entanto, propicia maior número de possibilidades para o seu melhor desempenho ambiental, quando comparada a edificações que não têm esta preocupação (Mahdavinejad, Zia, Larki, Ghanavati, & Elmi, 2014).

De acordo com Gabay Meir, Schwartz e Werzberger (2014), a maior parte dos sistemas de certificação ambiental envolve um considerável custo inicial, além de uma maior complexidade para a sua implantação em projetos menores e mais simples, e por isto são normalmente empregados em edificações de multipavimentos, do setor público e comercial.



Portanto, a aplicação destes sistemas de certificação às HIS acaba sendo economicamente inviável.

Outra característica em comum destes sistemas de certificação é a ausência de critérios efetivos relacionados às questões socioculturais e econômicas das edificações, mais uma vez focando somente nas questões ambientais.

No sentido de criar uma metodologia de avaliação de sustentabilidade específica para a realidade Brasileira, com foco em habitações, foi criado em 2010, o selo Casa Azul de sustentabilidade. As principais diferenças desta certificação em relação às outras é a maior simplicidade de aplicação a habitações unifamiliares e a uma categoria específica para práticas sociais (Lamberts, Scalco, Fossati, Montes, & Versage, 2015).

Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) compararam as certificações LEED, Aqua e Selo Casa Azul para a realidade das habitações brasileiras e concluíram que o último sistema é o mais adequado. No entanto, nota-se a ausência de critérios relacionados à sustentabilidade econômica.

Por fim, comparando todas as metodologias e os sistemas de certificação que foram apresentados de forma breve, nenhum apresenta requisitos e critérios específicos para cada sistema da edificação, como estruturas, cobertura, esquadrias e etc; a maioria possui preocupação em relação à envoltória (fachadas, cobertura e pisos), no entanto, com foco apenas nas questões de eficiência energética, deixando as questões socioculturais e econômicas de lado.

O presente trabalho tem por objetivo a aplicação da metodologia MASP-HIS, anteriormente desenvolvida por Carvalho (2009) para sistemas estruturais, de esquadrias e de cobertura; esta metodologia considera, além dos aspectos ambientais, os socioculturais e os econômicos.

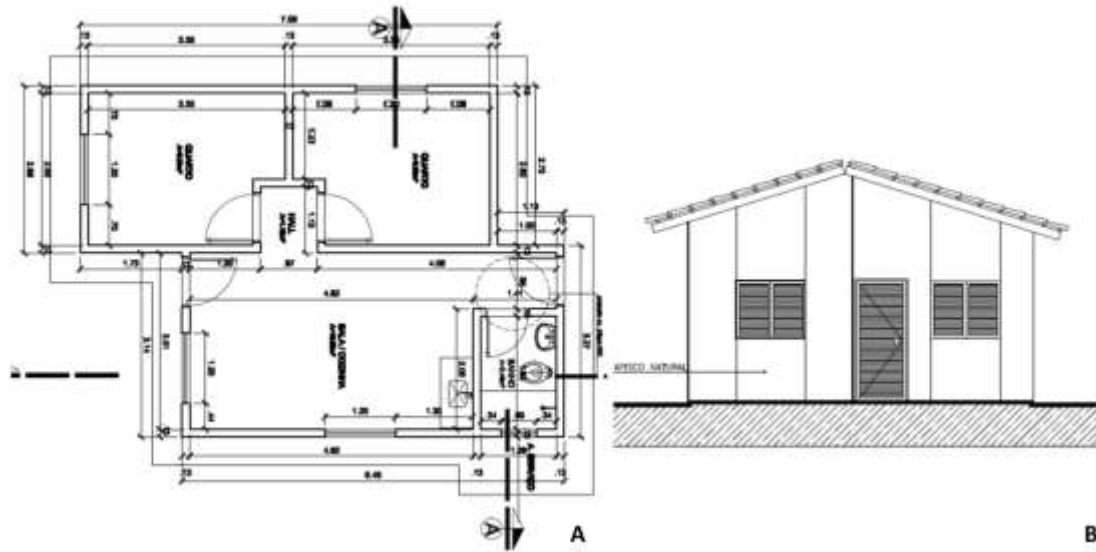
## **Método**

O método utilizado nesta pesquisa é o estudo de caso. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), o estudo de caso consiste na avaliação mais aprofundada e detalhada de algum objeto de estudo específico. Neste sentido, a metodologia MASP-HIS foi aplicada em um projeto específico, típico de uma habitação de interesse social, considerando o contexto da cidade de Brasília (Figura 1). A seguir a metodologia MASP-HIS é detalhada.





**Figura 1** - Projeto de habitação de interesse social avaliado no estudo de caso. (A) Planta baixa. (B) Fachada frontal



Fonte: Carvalho (2009).

### A Metodologia de Avaliação de Sustentabilidade de Projetos de Habitações de Interesse Social (MASP-HIS)

Esta metodologia foi desenvolvida por Carvalho (2009), e fornece critérios científicos para a avaliação da sustentabilidade ambiental, sociocultural e econômica de projetos, como forma de subsidiar a escolha e especificação de materiais e componentes. A MASP-HIS pode auxiliar a avaliação da fase de projeto no ciclo de vida da habitação com foco na sustentabilidade, minimizando impactos e garantindo a qualidade na gestão do processo de projeto por meio de indicadores. É voltada para o usuário, principalmente para os projetistas (engenheiros e arquitetos) do segmento da construção direcionados para a HIS. Pode ser aplicada: (a) projetos completos: verificação dos projetos completos, considerando aspectos da sustentabilidade ambiental, sociocultural e econômico com base em requisitos pré-estabelecidos; (b) sistemas da habitação: indicações para a especificação de materiais e componentes de sistemas da habitação, considerando critérios ambientais, socioculturais e econômicos; em relação aos sistemas considerados.

Conforme citado anteriormente, a metodologia foi aplicada para o sistema de vedação vertical (Carvalho, 2009; Carvalho & Sposto, 2012), devido entre outros aspectos, a sua maior participação em massa e custos de uma HIS, como evidenciado nos estudos de Tavares (2006) e Saade *et al.* (2014).



Dentro da MASP-HIS, foi desenvolvida também uma ferramenta computacional, que realiza cálculos e considerações lógicas, de acordo com os critérios de sustentabilidade consistentes e abrangentes previstos.

Para a obtenção dos índices de sustentabilidade de projeto, a metodologia MASP-HIS teve como pressuposto a entrada de dados via (banco de dados) inseridos na ferramenta, o que permitiu verificar se os projetos submetidos à análise contemplam ou não determinados requisitos de sustentabilidade, como o uso de recursos naturais, a energia incorporada e as emissões de CO<sub>2</sub> quando da produção e do transporte dos materiais e componentes. Foram adotados os seguintes critérios para o cálculo do índice de sustentabilidade:

- Ambiental: energia incorporada, emissões de CO<sub>2</sub>, potencial de reciclabilidade, toxicidade e abundância.
- Sociocultural: participação, herança cultural, fornecedores de materiais.
- Econômico: custo do ciclo de vida.
- Aplicação da Metodologia de Avaliação de Sustentabilidade de Projetos de Habitações de Interesse Social (MASP-HIS) em sistemas estruturais, esquadrias e coberturas.

Para a comparação entre os sistemas de estrutura, cobertura e esquadria foram utilizadas medidas unitárias referentes ao m<sup>2</sup> de área construída.

Para a avaliação do sistema referente à estrutura foram escolhidos: o concreto armado, a madeira e o aço. A resistência característica (f<sub>ck</sub>) do concreto armado foi de 20 MPa, 25 MPa ou 30 MPa; a madeira pode ser seca ao forno ou seca ao ar livre. O aço foi o CA-50 ou CA-60, para o concreto armado, e para o aço estrutural foram considerados os perfis laminados ou soldados. O concreto estrutural adotado foi o rodado em obra com o emprego de brita 1 e cimento Portland CP II-E-32 (resistência de 32 MPa).

Para a avaliação do sistema de cobertura, foram consideradas as estruturas da cobertura e os tipos de telhas. Foram consideradas estruturas da cobertura de madeira ou de aço, sendo que a madeira pode ser seca ao forno ou ao ar livre; e dois tipos de telhas, a cerâmica e a de fibrocimento.

Por fim, para o sistema de esquadrias, consideraram-se as portas e janelas; para o cálculo do m<sup>2</sup> de esquadria, cada um desses elementos possui uma espessura recomendável diferente. Foi considerado para o portal a espessura de 14 cm e para a janela contramarco de 7 cm. Os materiais considerados na avaliação desse sistema foram



esquadrias de aço, de madeira ou de alumínio, sabendo que a madeira pode ser seca ao ar livre ou ao forno.

### Aspectos Ambientais

Foram avaliadas cinco subcategorias de avaliação para a sustentabilidade ambiental, entre elas: energia incorporada (na extração, fabricação e transporte dos materiais), emissões de CO<sub>2</sub> (na extração, fabricação e transporte dos materiais), potencial de reciclabilidade, toxicidade e abundância.

Foram escolhidas questões relacionadas à energia e ao CO<sub>2</sub>, por estes aspectos ambientais estarem sendo empregados como indicadores de sustentabilidade ambiental aplicado ao setor da construção civil em diversos países, por meio da adaptação da avaliação de ciclo de vida (ACV), sendo denominados por avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e avaliação do ciclo de vida de emissões de CO<sub>2</sub> (ACVCO<sub>2</sub>), como verificado por Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez e Castell (2014) e Chau, Leung e Ng (2015).

As principais características e/ou números que aparecem na MASP-HIS são: emissões de CO<sub>2</sub> (em kg de CO<sub>2</sub>/kg de materiais); energia incorporada (em MJ/kg de materiais); e características quanto à reciclabilidade, toxicidade e abundância (Quadro 1).

**Quadro 1** - Parâmetros dos materiais de sistemas estruturais, cobertura e esquadrias

Sistema	Material	Material	Índice energético (MJ/kg)	Fonte	Emissões de CO <sub>2</sub> (KgCO <sub>2</sub> /kg)	Fonte	Potencial de reciclabilidade	Toxicidade
Estrutura	Concreto	Brita 1	0,01	Saade <i>et al.</i> (2014)	0,004	Santoro e Kripka (2016)	Sim	Não
		Aço	10,27	Saade <i>et al.</i> (2014)	1,55	Saade <i>et al.</i> (2014)	Sim	Não
		Cimento	3,37	Saade <i>et al.</i> (2014)	0,51	Saade <i>et al.</i> (2014)	Sim	Não
		Areia	0,01	Saade <i>et al.</i> (2014)	0,004	Santoro e Kripka (2016)	Sim	Não
	Aço	Aço	10,27	Saade <i>et al.</i> (2014)	1,55	Saade <i>et al.</i> (2014)	Sim	Não
	Madeira	Seca em forno	9,0	Caldas (2016)	0,32	Caldas (2016)	Sim	Não
		Seca ao ar livre	0,5	Caldas (2016)	0,04	Caldas (2016)	Sim	Não



Sistema	Material	Material	Índice energético (MJ/kg)	Fonte	Emissões de CO <sub>2</sub> (KgCO <sub>2</sub> /kg)	Fonte	Potencial de reciclabilidade	Toxicidade
Cobertura	Estrutura cobertura	Madeira (seca em forno)	9,0	Caldas (2016)	0,32	Caldas (2016)	Sim	Não
		Madeira (seca ao ar livre)	0,50	Caldas (2016)	0,04	Caldas (2016)	Sim	Não
	Telhas	Cerâmica	1,59	Saade <i>et al.</i> (2014)	0,53	Saade <i>et al.</i> (2014)	Sim	Não
		Fibrocimento	6	Tavares (2006)	2,72	Tavares (2006)	Não	Sim
Esquadrrias	Aço	10,27	Saade <i>et al.</i> (2014)	1,55	Saade <i>et al.</i> (2014)	Sim	Não	
	Madeira (seca em forno)	9,0	Caldas (2016)	0,32	Caldas (2016)	Sim	Não	
	Madeira (seca ao ar livre)	0,5	Caldas (2016)	0,04	Caldas (2016)	Sim	Não	
	Alumínio	98,2	Tavares (2006)	1,8	Bessa (2010)	Sim	Não	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao final foi realizada a média dos resultados encontrados para a obtenção do índice de sustentabilidade relacionado ao aspecto ambiental. Estes valores foram adotados com base nas pesquisas de Bessa (2010), Saade *et al.* (2014), Caldas (2016) e Santoro e Kripka (2016). Estas pesquisas estão inseridas no contexto brasileiro, com escopo e fronteiras denominados de “berço ao túmulo” (extração, processamento, transporte, manutenção e destinação final dos materiais e componentes utilizados).

### Aspectos Socioculturais

Os aspectos sociais foram avaliados na forma de questionamentos, divididos em três critérios: participação dos usuários, herança cultural e fornecedores de materiais (Quadro 2). Estes foram escolhidos como forma de possibilitar a relação com os sistemas e materiais adotados na HIS.



**Quadro 2** - Questionamentos considerados para o índice de sustentabilidade relacionado aos aspectos socioculturais

<b>Questionário para os aspectos socioculturais</b>
<b>Participação dos usuários</b>
Há proposta para a participação, integração e coesão dos usuários e outras partes interessadas para a definição dos processos construtivos, materiais e componentes empregados?
Houve consulta aos usuários quanto à satisfação do projeto apresentado?
<b>Herança cultural</b>
Há elementos que fazem parte da memória efetiva dos usuários nos projetos?
Foram especificados componentes locais e tradicionais à região onde o projeto será inserido?
O projeto é adequado ao estilo de vida dos futuros usuários?
O projeto tem a habilidade de suportar o processo de coesão cultural (diferentes necessidades culturais)?
<b>Fornecedores de materiais</b>
A empresa adota critérios de compra que consideram a garantia de origem, para evitar a aquisição de produtos piratas ou defeituosos?
A empresa considera como requisito para a compra a inexistência de produtos e fontes de trabalho infantil e trabalho forçado?
Para contratar um fornecedor, além de exigir uma boa proposta comercial (com qualidade, preço e prazo), a empresa avalia se ele mantém práticas de responsabilidade social?
A empresa busca fornecedores em cooperativas de pequenos produtores, associações de bairros e projetos de geração de renda?

**Fonte:** Autores.

Os índices do aspecto sociocultural são calculados com fórmulas matemáticas simples, de modo a possibilitar um fácil e rápido entendimento; foram estabelecidos pela relação  $QS/QT$ , na qual  $QS$  é a soma das respostas SIM e  $QT$ , a soma das respostas SIM e NÃO, para cada um dos temas. O usuário também tem a opção “Não se aplica”, sendo esse caso não contabilizado para o cálculo dos índices.

### *Aspectos Econômicos*

Medir o desempenho econômico das HIS é mais simples do que medir o desempenho ambiental e o sociocultural. Publicações sobre o desempenho econômico estão facilmente disponíveis, com métodos-padrão bem estabelecidos.



O método mais adequado para medir o desempenho econômico das edificações é o método do custo de ciclo de vida (CCV), padronizado para as análises de investimento de construções pela ASTM E917 (ASTM, 2015).

A avaliação do custo do ciclo de vida (*life cycle cost* – LCC) é um método matemático-financeiro usado para formar e apoiar uma decisão e é normalmente utilizado no momento de deliberar sobre uma seleção de opções. Tal análise considera todos os componentes do custo, como: custos iniciais, de financiamento, de operação, de manutenção, de reposição, entre outros, para cada alternativa (Oliveira, 2013).

Os aspectos econômicos dos sistemas de uma edificação tratam do custo do ciclo de vida (CCV) dos materiais. Na metodologia MASP-HIS foi considerado o método do valor presente, por ele ser o mais usado para o contexto da construção civil. Assim, os custos totais (ou globais) considerados no ciclo de vida de cada sistema estão representados na equação (1) a seguir:

$$C_T = C_I + C_M + C_D \quad (1)$$

Na qual  $C_I$  é o custo inicial;  $C_M$ , o custo de manutenção; e  $C_D$ , o custo de demolição/desconstrução. Os custos iniciais dos materiais devem ser informados pelo profissional habilitado em uma planilha específica do PROMASP-HIS e dependendo de cada sistema avaliado.

Os custos de manutenção e demolição/desconstrução devem ser quantificados a partir da previsão de cenários de substituição dos materiais utilizados como as formas de demolição. Estas informações podem ser encontradas nas fichas técnicas de materiais e componentes, como as tabelas de composições de serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e/ou Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO), com base na vida útil de projeto estipulada pelos fabricantes e em normas específicas, como a NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

### *Índice de Sustentabilidade Global*

Todos estes índices são calculados a partir de uma média aritmética simples e multiplicados por 100, e variam sempre de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de 100, mais sustentável é a edificação.

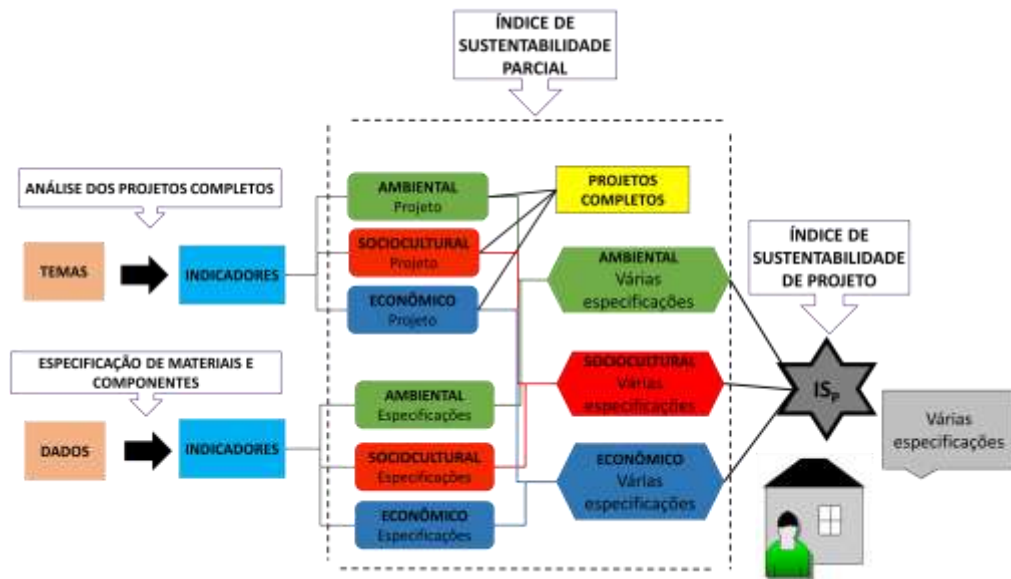
Ao final são somados os índices dos três aspectos: ambiental, sociocultural e econômico. Todos tiveram o mesmo peso para a obtenção do valor final. O conjunto de indicadores forma um todo possível de estabelecer um índice que tenha uma aplicação prática.



Deve-se destacar que neste trabalho as dimensões ambientais e econômicas são focadas nos sistemas escolhidos (estrutura, cobertura e esquadrias) e a questão sociocultural faz uma avaliação a partir do aspecto geral da obra.

Na Figura 2 é apresentado o processo completo de obtenção do índice de sustentabilidade global dos sistemas isolados e da habitação, como um todo proposto por Carvalho (2009).

**Figura 2** - Processo completo de construção do índice de sustentabilidade global da HIS



**Fonte:** Carvalho (2009).

A ferramenta MASP-HIS pode ser dividida em dois momentos: (1) especificação dos materiais e componentes, com base em critérios ambientais, socioculturais e econômicos; (2) análise do projeto completo, também com base nesses três critérios. No presente trabalho, é apresentada somente a parte referente à especificação de materiais e componentes dos sistemas específicos (estrutura, cobertura e esquadrias).

Dessa forma, a partir dos projetos e especificações de materiais e componentes dos diversos sistemas da habitação, é possível chegar a índices de sustentabilidade parciais (ambientais, sociais e econômicos) e ao índice de sustentabilidade global, tanto para um sistema como para habitação completa.

Cabe ressaltar que esta ferramenta pode ser atualizada, com adaptação e revisão dos dados de entrada.



## Resultados e Discussão

A ferramenta foi formatada e expandida de forma que o usuário possa avaliar uma edificação nos aspectos ambientais, sociais e econômicos do projeto como um todo e dos sistemas de estrutura, esquadria e cobertura.

De acordo com os dados de entrada, localidade e outros critérios de avaliação já mencionados, podem ser facilmente visualizados soluções por meio de gráficos e índices. Como exemplo, na Figura 3 é apresentado um esquema de combinações e nas Figuras 4, 5 e 6 e resultados do sistema de esquadrias para o aspecto ambiental, econômico e social, respectivamente. Na Figura 7 são apresentados os resultados para o índice de sustentabilidade de projeto (ISp).

**Figura 3** - Exemplo de apresentação dos resultados gráficos para esquadrias

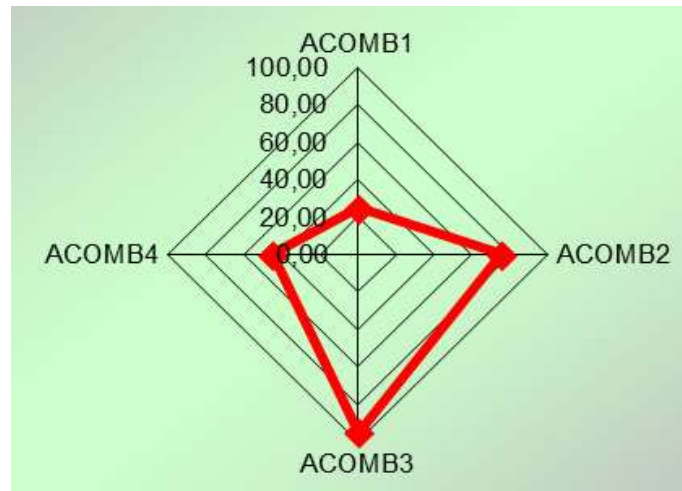
MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	COMBINAÇÕES
ALUMÍNIO		COMBINAÇÃO 1
MADEIRA	SECA AO AR LIVRE SECA EM FORNO	COMBINAÇÃO 2
AÇO		COMBINAÇÃO 3

Fonte: Autores.



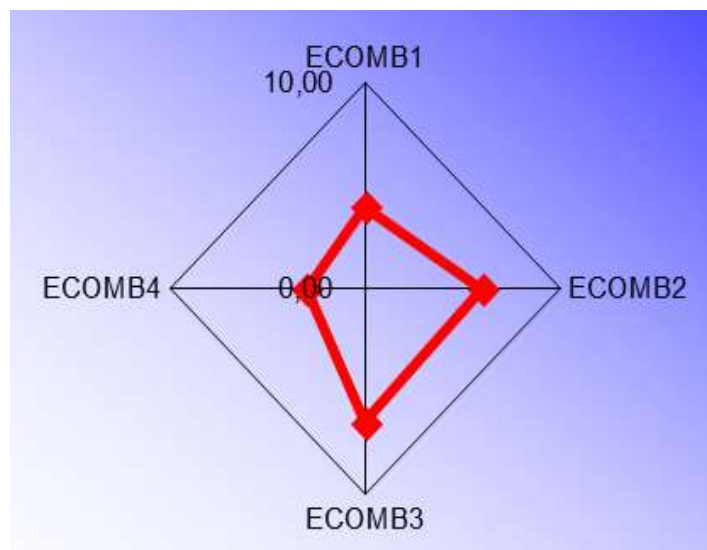


**Figura 4** - Resultado para o aspecto ambiental das diferentes combinações de esquadrias



Fonte: Autores.

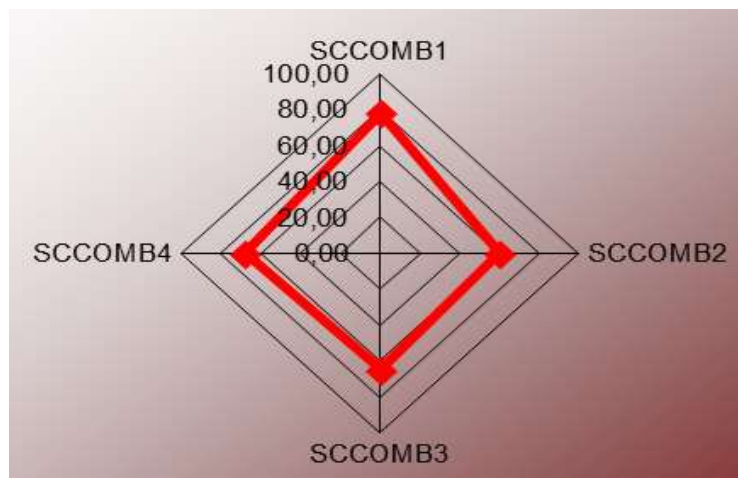
**Figura 5** - Resultado para o aspecto econômico das diferentes combinações de esquadrias



Fonte: Autores.

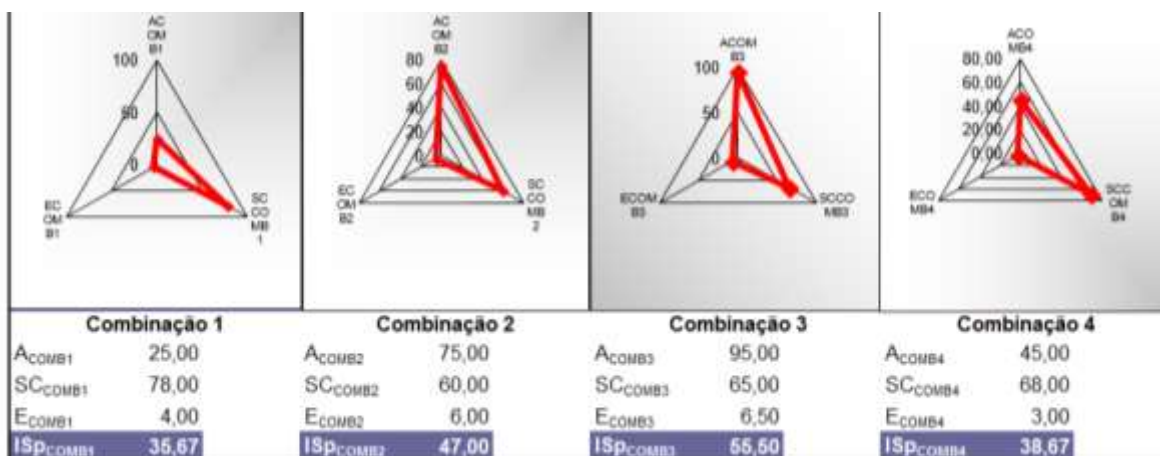


**Figura 6** - Resultado para o aspecto social das diferentes combinações de esquadrias



Fonte: Autores.

**Figura 7** - Resultado para o Índice de sustentabilidade do projeto (ISp)



Fonte: Autores.

Como pode ser observado a combinação 3, composta em madeira seca ao ar livre, foi a que apresentou o melhor índice para o aspecto ambiental e econômico das esquadrias (janelas), enquanto a combinação 1, de alumínio, o pior índice. No entanto, é interessante notar que no aspecto econômico a diferença entre os resultados das combinações é menor, dado ao maior custo de manutenção das esquadrias de madeira.

Observa-se que há uma tendência dos aspectos ambientais e econômicos convergirem para resultados semelhantes, tendo em vista que processos produtivos mais intensivos resultem, na maior parte das vezes, em maiores custos e maiores impactos ambientais, como é o caso da produção de alumínio. Por outro lado, no aspecto social os resultados são mais equilibrados entre as quatro alternativas, sendo que a esquadria de alumínio foi a mais vantajosa, enquanto a de madeira seca ao ar livre a menor. Um dos itens



que fez diminuir a pontuação das esquadrias de madeira foi a maior dificuldade de obtenção de madeira na região de estudo, e quando se pensa no estilo de vida dos usuários a necessidade de maiores manutenções.

A ferramenta, portanto, mostra a sensibilidade de calcular diferentes combinações, mostrando que uma dada alternativa dificilmente conseguirá ser mais vantajosa em todos os aspectos. Tal resultado vai de encontro à dificuldade de especificar sistemas totalmente sustentáveis, sendo assim, necessário selecionar aquela alternativa mais eficiente, ou seja, que ao final apresente um resultado otimizado dos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Para o caso apresentado nesse estudo foi a combinação 3 que obteve o maior índice, de 55,50 pontos, seguida pela combinação 2, 4 e 1.

Os resultados apresentados para o sistema de esquadrias poderão ser obtidos para o sistema de estrutura, cobertura e o restante da habitação. Foi verificada a possibilidade de realizar 1920 combinações ao total.

Algumas das combinações que a ferramenta pode gerar são apresentadas no esquema da Figura 8, de forma simplificada. O índice de sustentabilidade global do projeto é obtido através das combinações dos índices de cada etapa, que por sua vez são obtidos com a combinação de cada sistema, que são obtidos com o cálculo baseado nos critérios escolhidos.



**Figura 8 - Exemplo de algumas possíveis combinações**

ESTRUTURA	ESTRUTURA COBERTURA	TELHAS	ESQUADRIAS PORTAS	ESQUADRIAS JANELAS	COMBINAÇÕES	
CONCRETO ARMADO	AÇO	FIBROCIMENTO	ALUMÍNIO	ALUMÍNIO	COMB. 1	
			ALUMÍNIO	MADEIRA SECA AO FORNO	COMB. 2	
			ALUMÍNIO	MADEIRA SECA AO AR LIVRE	COMB. 3	
			AÇO	AÇO	COMB. 4	
	AÇO	FIBROCIMENTO	FIBROCIMENTO	AÇO	ALUMÍNIO	COMB. 5
				AÇO	MADEIRA SECA AO FORNO	COMB. 6
				AÇO	MADEIRA SECA AO AR LIVRE	COMB. 7
				AÇO	AÇO	COMB. 8

Fonte: Autores.

A combinação composta pela estrutura em madeira seca ao ar livre, cobertura em madeira seca ao ar livre com telhas cerâmicas, janelas e portas em madeira seca ao ar livre foi a que obteve um maior valor do índice de sustentabilidade para a habitação. Isto ocorreu devido ao baixo impacto ambiental da madeira em conjunto com os relativos baixos custos e impactos socioculturais.

Já a combinação composta por estrutura em aço, cobertura em aço com telhas de fibrocimento, janelas e portas em alumínio foi a que obteve menor valor do índice de sustentabilidade para a habitação. O alumínio possui elevados valores de energia incorporada e emissões de CO<sub>2</sub> além do elevado custo deste material.

Neste sentido, a ferramenta proposta pode resultar em mudanças do cenário atual, auxiliando na melhoria da sustentabilidade do setor da construção civil brasileira, em especial no âmbito da habitação de interesse social.



Pode ser considerada uma ferramenta útil, com potencial de aplicação para o projetista, subsidiando a elaboração de projetos e especificações mais sustentáveis, considerando critérios ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida destas habitações, diferentemente dos critérios puramente com base nos custos iniciais, adotados atualmente, pela maioria das empresas de projeto e construtoras.

Vale ressaltar que as questões relacionadas aos três aspectos sociais, econômicos e ambientais, de dado material ou sistema construtivo, podem mudar em um futuro próximo, tendo em vista o desenvolvimento tecnológico do setor. Materiais e sistemas cujo processo construtivo é mais artesanal como estrutura de concreto armado e alvenaria tendem a ter poucas modificações, no entanto, aqueles mais industrializados são mais propensos a alguma efficientização do processo. Dessa forma, a metodologia não é estática, pelo contrário, ela tem a característica de ser atualizada com novos dados dos materiais e sistemas considerados.

## Conclusões

Foi utilizada uma ferramenta denominada de Metodologia de Avaliação de Sustentabilidade de Projetos de Habitações de Interesse Social - MASP-HIS, para a avaliação de sistemas de estruturas, coberturas e esquadrias, com base em critérios ambientais, socioculturais e econômicos, para o projeto de uma HIS.

Foram fornecidos subsídios para a montagem de banco de dados relativo ao uso de recursos naturais, ao consumo energético e à emissão de CO<sub>2</sub>, quando da produção e do transporte dos materiais e componentes para fins de auxílio à especificação.

Estabeleceram-se combinações entre os diversos materiais e componentes que compõem os sistemas estruturais, coberturas e esquadrias para a verificação da solução que apresenta a melhor opção quanto aos aspectos da sustentabilidade.

Quando se compara diferentes combinações de esquadrias, a de madeira seca ao ar apresentou o maior índice de sustentabilidade de projeto, enquanto a de alumínio o menor valor.

Para o projeto da habitação, considerando os outros sistemas (estrutura e cobertura), a combinação composta por estrutura e esquadrias de madeira seca ao ar livre com telhas cerâmicas foi a que apresentou melhor índice de sustentabilidade, enquanto a combinação com estrutura de aço, esquadrias de alumínio e telhas de fibrocimento o pior índice.

Diferentemente dos sistemas de certificação ambiental existentes, a ferramenta proposta pode oferecer diversas combinações de diferentes sistemas construtivos usuais nas HIS brasileiras, subsidiando de forma rápida e objetiva a etapa de projeto e a escolha



das combinações mais sustentáveis. Desta forma, respondendo ao problema de pesquisa, a metodologia MASP-HIS mostrou ser uma ferramenta com grande potencial para facilitar a avaliação, de forma objetiva e quantitativa, da sustentabilidade de projetos de habitações de interesse social.

Para trabalhos futuros sugere-se a inserção de novos sistemas, como impermeabilização, instalações, pintura e etc., assim como, outros materiais e componentes para processos construtivos inovadores.

## Referências

- American Society for Testing And Materials (ASTM). (2015). *ASTM -E917-15 .Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*. 2015.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2013). *NBR 15575-1. Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Agopyan, V., & John, V. M. (2011). *O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil*. Série Sustentabilidade, Vol. 5. Ed. Blucher. São Paulo, SP, Brasil.
- Bessa, V. M. T. (2010). *Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios*. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Benett, P., & Sattler, M. (2004). Indicadores de sustentabilidade em habitação popular. *Anais da Conferência Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, São Paulo, SP, Brasil.
- Brasil. *Caixa Econômica Federal*. Disponível em: <  
[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programas\\_de\\_repasso\\_do\\_OGU/habitacao\\_interesse\\_social.asp](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_de_repasso_do_OGU/habitacao_interesse_social.asp)> Acesso 01 de outubro de 2015.
- Bruntland, G.H. (1987). *Our common Future: The world commission on environment and Development*. Oxford. Oxford University Press.
- Buoro, A. B., Neto, A. H., Gonçalves, J. C. S., & Harris, C. (2015). A certificação ambiental de edifícios. *In: Gonçalves, J. C., Bode, K. (org.) Edifício Ambiental*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394-416.
- Caldas, L. R. (2015). *Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO<sub>2</sub> de uma edificação habitacional de light steel framing*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.



- Caldas, L. R., Carvalho, M. T. M. Avaliação do desempenho de vedações verticais utilizando o Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisão. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 9(2), 109-121.
- Carvalho, M. T. M. (2009). *Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto*. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- Carvalho, M. T. M., & Sposto, R. M. (2012). Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. *Ambiente Construído*, 12 (1), 207-225.
- Cervenová, L. (2005). Social housing in Slovakia: the task and justness of the non-profit housing organizations establishment in Slovakia. *International Journal of Strategic Property Management*, 9(2), 111-120.
- Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). Review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, 14(1)3, 395-415.
- Chen, K. (2003). Urban housing quality in China: a post-occupancy evaluation study of stat pilot housing states. *Journal of Architectural and Planning Research*, 20(4), 271-290.
- Fundação João Pinheiro. (2005). *Déficit habitacional no Brasil: municípios selecionados e microrregiões geográficas*. Belo Horizonte, BH, Brasil.
- Fundação João Pinheiro. (2016). *Déficit habitacional total, relativo e por componentes no Brasil 2013-2014*. Belo Horizonte, BH, Brasil.
- Gabay, H., Meir, I. A, Schwartz, M., & Werzberger, E. (2014). Cost-benefit analysis of green buildings: An Israeli office buildings case study. *Energy and Buildings*, 76, 558-564.
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. Métodos de pesquisa. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS. Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- Grünberg, P. R. M., Medeiros, M. H. F., & Tavares, S. F. (2014). Certificação Ambiental de Habitações: Comparação entre Leed For Homes, Processo Aqua E Selo Casa Azul. *Ambiente & Sociedade*, 17(2), 195-214.
- Guimarães, J. P. F. *Sílica Ativa e sua contribuição para a sustentabilidade*. Artigo Tecnosil, 2009.
- Heravi, G., Fathi, M., & Faeghi, S. (2015). Evaluation of sustainability indicators of industrial buildings focused on petrochemical projects. *Journal of Cleaner Production*, 109(16), 92-107.
- Instituto Brasileiro De Informação Em Ciência E Tecnologia (IBICT). (2015). *Diálogos Setoriais no Brasil e União Europeia Desafios e Soluções para o Fortalecimento da ACV no Brasil*. Brasília, DF, Brasil.
- Isaia, G. C. (2007). A ciência e a engenharia de materiais na construção civil. In: ISAIA, G. C (ed.) *Materiais de Construção Civil*. Ibracon, São Paulo, SP, Brasil.



- Isaia, G., & Gastaldini, A. (2004). Concreto “verde” com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. *Anais da Conferência Latino-Americana de Construções Sustentáveis*, São Paulo, SP, Brasil.
- Kowaltowski, D. C. C. K., Granja, A. D., Moreira, D. C.; Silva, V. G., & Pina, S. A. M, G. (2015). Métodos e instrumentos de avaliação de projetos destinados à habitação social. In: Villa, S. B., & Ornstein, S. W. (Org.). *Qualidade Ambiental na habitação: avaliação pós-ocupação*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.
- Kumar, S. A. (2002). A perspective study on fly ash-lime-gypsum bricks hollow blocks for low cost housing development. *Construction and Building Materials*, 16(8), 519-525.
- Kylili, A., Fokaides, P. A., & Jimenez, P. A. L. (2016). Key Performance Indicators (KPIs) approach in buildings renovation for the sustainability of the built environment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 906-915.
- Lamberts, R., Scalco, V. A., Fossati, M., Montes, M. A. T., & Versage, R. S. (2015). Brasil, Plano Nacional de Eficiência Energética, etiquetagem e o selo Caixa Azul da Caixa. In: GONÇALVES, J. C.; BODE, K. (org.) *Edifício Ambiental*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.
- Noguchi, M., & Velasco, C. R. H. (2005). Mass custom design approach to upgrading conventional housing development in Mexico. *Habitat International*, 29(2), 325-336.
- Macêdo, A. T., & Martins, M. F. (2015). A sustentabilidade urbana sob a ótica da construção civil: um estudo nas empresas construtoras de Campina Grande-PB. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4(1),139-157.
- Mahdavinejad, M., Zia, A., Larki, A. N., Ghanavati, S., & Elmi, N. (2014). Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 235-246.
- Mckay, S., & Khare, A. (2004). Awareness development for an energy management program for social housing in Canada. *Energy and Buildings*, 36, 237-250.
- Oliveira, F. R. M. (2013). *Integração de Indicadores de Desempenho Técnico-Funcional, Ambiental e Econômico de Sistemas Estruturais Verticais em Concreto*. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, SP, Brasil.
- Oliveira, F. R.M., Silva, M.G., & Gomes, V. (2013). Exploring life cycle-based sustainability indicators for building structural frames in concrete. *Ibracon Structures and Materials Journal*, 6(5), 832-843.
- Plessis, C. (Org.) *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*. CIB/UNEP-IETC, 2002.
- Romero, M. A., & Reis, L. B. (2012). *Eficiência Energética em Edifícios*. Série Sustentabilidade. 1ª ed. Editora Manolé. Barueri, SP, Brasil.
- Saade, M. R. M., Silva, M. G., Gomes, V.; Franco, H. G., Schwambach, D., & Lavor, B. (2014). Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. *Smart and Sustainable Built Environment*, 3(1), 54-71.





- Sachs, I. (1993). *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. Studio Nobel: Fundap, São Paulo, SP, Brasil.
- Salgado, M. S., Chatelet, A., & Fernandez, P. (2012). Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. *Ambiente Construído*, 12(4),81-99.
- Santoro, J. F., & Kripka, M. (2016). Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*, 16(2), 35-49.
- Sedrez, M. M., Rosa, F. F., & Sattler, M. A. (2001). Estratégias de projeto para habitações do CETHS em Nova Hartz, RS. *Anais do Encontro Nacional e Encontro Latino- Americano Sobre Edificações Sustentáveis e Comunidades Sustentáveis*, Canela, RS, Brasil. Canela, 2001.
- Seiffert, M. E. B. (2011). *Gestão Ambiental – Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental*. Editora Atlas, São Paulo, SP, Brasil.
- Silva, J. A., Silva, S. E., & Nome, C. (2016). A Densidade, dispersão e forma urbana. Dimensões e limites da sustentabilidade habitacional. *Arquitextos Vitruvius*, 189(07).
- Soares, S. R., & Pereira, S. W. (2004). Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. *Ambiente Construído*, 4(2), 83-94.
- Spoto, R. M., & Paulsen, J. S. (2014). Energia Incorporada em Habitações de Interesse Social na Fase de Pré-Uso: O Caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. *Oculum Ensaio*, 11(1),39-50.
- Stachera, T. Jr., & Casagrande, E. F. Jr. (2007). Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na Construção civil: Um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. *Anais do Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. Curitiba, PR, Brasil.
- Tavares, S. F. (2006). *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.
- Teixeira, M. G., Zamberlam, J. F., Santos, M. B., & Gomes, C. M. (2016). Processo de mudança para uma orientação sustentável: análise das capacidades adaptativas de três empresas construtoras de Santa Maria-RS. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 5(1),45-60.
- Tolete, T. S. (2003). *Quinta da mina*. Dissertação (Mestrado), Licenciatura em Sociologia, Instituto Superior de Ciência do Trabalho e da Empresa, Lisboa, Portugal.
- Wei, W., Ramalho, O., & Mandin, C. (2015). Indoor air quality requirements in green building certifications. *Building and Environment*, 92, 10-19.