

ENERGIA INCORPORADA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA FASE DE PRÉ-USO: O CASO DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA NO BRASIL

EMBODIED ENERGY IN SOCIAL HOUSING IN THE PRE USE: THE CASE FOR THE PROGRAM MY HOUSE MY LIFE IN BRAZIL | ENERGÍA INCORPORADA EN VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN LA FASE DE PREUSO: EL CASO DEL PROGRAMA MI CASA MI VIDA EN BRASIL

ROSA MARIA SPOSTO, JACOB SILVA PAULSEN

RESUMO

Nos últimos anos o governo brasileiro tem investido em programas de Habitações de Interesse Social para famílias de baixa renda; como exemplo, pode ser apontado o Programa Minha Casa Minha Vida. Considerando o grande porte deste programa, que consiste na produção de um número elevado de habitações, é importante analisar o impacto energético-ambiental negativo gerado, visando minimizá-lo, além de criar uma base de dados para futuras avaliações de projetos e tecnologia. O objetivo deste trabalho foi levantar a energia incorporada na fase de pré-uso por meio de um estudo de caso de uma Habitação de Interesse Social construída com um sistema convencional. A fase de pré-uso compreende a extração de matéria-prima, a fabricação de materiais e componentes, o transporte destes e a execução da habitação. O estudo de caso mostrou que a energia inicial incorporada desta habitação é 3,2GJ/m². Cerca de 60% desta energia é utilizada na construção de vedações verticais, indicando que este é o elemento com maior potencial de melhorias para reduzir a energia incorporada.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo de vida. Energia incorporada. Vivência social.

ABSTRACT

In recent years, the Brazilian government has invested in Social Housing Programs for low-income families, such as the program Minha Casa Minha Vida. Considering the large investments in this program, which comprehends building a large number of homes, it is important to analyze the embodied negative energy and environmental impacts in order to minimize them and create a database for future assessments of projects and technology. The goal of this paper was to collect data on the embodied energy during the pre-use phase through a case study of a house in the Social Housing Program constructed using conventional methods. The case study showed that the initial embodied energy is 3.2GJ/m². Approximately 60% of the embodied energy is used in the wall construction. The study indicates that the largest improvement for reducing the initial

embodied energy would be building the wall with materials and systems that require less embodied energy.

KEYWORDS: *Life cycle. Embodied energy. Social housing.*

RESUMEN

En los últimos años el gobierno brasileño ha invertido en Programas de Vivienda de Interés Social para familias de bajos recursos, como ejemplo puede ser adoptado el Programa Mi Casa Mi Vida. Considerando la gran magnitud de este programa, que consiste en la producción de un número elevado de viviendas, es importante analizar el impacto energético-ambiental negativo generado, buscando minimizarlo, además de crear una base de datos para futuras evaluaciones de proyectos y tecnología. El objetivo de este trabajo es levantar la energía incorporada en la fase de preuso por medio de un estudio de caso de una vivienda de interés social construida con un sistema convencional. La fase de preuso comprende la extracción de materia prima, la fabricación de materiales y componentes, el transporte de estos y la ejecución de la vivienda. El estudio de caso mostró que la energía inicial incorporada de esta vivienda es 3,2GJ/m². Cerca del 60% es utilizada en la construcción de muros verticales, indicando que este es el elemento con mayor potencial de mejoras para reducir la energía incorporada.

PALABRAS CLAVE: *Ciclo de vida. Energía incorporada. Vivienda social.*

INTRODUÇÃO

ENERGIA INCORPORADA E ENERGIA DE USO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e um futuro sustentável ganhou mais e mais atenção nas últimas décadas. Os problemas como o aumento do buraco da camada de ozônio, acúmulo de lixo, aquecimento global, entre outros, tornaram-se temas frequentes em todas as áreas da sociedade. Um dos segmentos mais importantes nesse contexto é o setor de construção civil, devido ao grande consumo de recursos (materiais, água e energia) e geração de resíduos e emissões nocivas ao meio ambiente (Aashish *et al.*, 2011).

A energia é um dos mais importantes recursos utilizados durante o ciclo de vida de edificações. Como exemplo, aproximadamente 50% do seu consumo total na Europa é representado pelo setor da construção (Citherlet & Defaux, 2007), e 30-40% em todo o mundo de toda a energia primária é utilizada em edificações (Utama & Gheewala, 2008). Por outro lado, o uso de energia, muitas vezes, tem sérios impactos ambientais, tanto local como globalmente (Winther & Hestnes, 1999). Isto é devido ao fato de a maior parte da energia ser gerada utilizando combustíveis fósseis, o que resulta em grande quantidade de emissões de CO₂. Portanto, uma redução global do consumo de energia no setor da construção pode ser vista como um objetivo importante a se alcançar na maioria dos lugares.

A SITUAÇÃO NO BRASIL

O setor da construção no Brasil não é diferente da Europa quando se trata dos impactos ambientais e uso de energia. Cerca de 44% da energia e 75% dos recursos naturais é consumido neste setor (Pfeifer, 2011).

Em relação à Habitação de Interesse Social (HIS), observa-se que há um déficit atual de cerca de 7,9 milhões (Brasil, 2009); no entanto, devido a um aumento esperado na população, o déficit na próxima década pode vir a ser muito maior (Garcia, 2009). Para minimizar este problema, o governo brasileiro iniciou o Programa de Habitação de Interesse Social com o nome Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). No período de 2008 a 2014, está prevista a construção de três milhões de casas para o grupo de famílias com renda abaixo de cinco salários-mínimos por mês. Conforme já comentado anteriormente, trata-se de um investimento de grande porte, no qual serão disponibilizadas somas significativas de materiais com diferentes energias incorporadas. Há necessidade, portanto, de se estimar este consumo para nortear escolhas de materiais que tenham menor energia incorporada, ou seja, materiais mais sustentáveis.

Em relação a estudos nacionais de energia incorporada, podem ser apontados aqueles referentes a: protótipo de habitação sustentável com levantamento de energia incorporada e alguns impactos ambientais (Kuhn & Sattler, 2006), energia incorporada em cinco tipos diferentes de casas padrão (Tavares, 2006) e energia incorporada de Habitação de Interesse Social do PMCMV, considerando-se também a fase de uso e manutenção (Sposto & Paulsen, 2012). No entanto, ainda há necessidade de desenvolver mais estudos nessa área, com foco em HIS e uso de energia na fase de pré-uso, buscando investigar o resultado do uso de diferentes materiais e componentes, para que se possam obter projetos e especificações mais sustentáveis. Considerando o grande investimento do PMCMV é importante analisar o seu impacto energético-ambiental nesta fase, para se criar uma base de dados nacionais que permita a melhor seleção de materiais e componentes. Futuramente sugerem-se mais análises aprofundadas ao longo do ciclo de vida completo.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi levantar a Energia Inicial Incorporada (EII) no ciclo de vida energético para uma HIS do PMCMV. Somente a primeira parte do ciclo de vida será considerada (fase de pré-uso).

CONCEITOS SOBRE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICA

Existem várias ferramentas para analisar e minimizar os impactos ambientais, sendo que uma das mais importantes é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a, 2009b) trazem os princípios e estrutura, além de alguns requisitos metodológicos para se avaliar o ciclo de vida de um produto ou

serviço. A estrutura de avaliação é constituída por: definição de objetivos, análise de inventário, quantificação dos impactos associados ao inventário e interpretação dos resultados, o que pode fornecer subsídios para melhoria do produto ou serviço avaliado, planejamento estratégico, *marketing* e elaboração de políticas públicas.

O que se observa, porém, é que o requisito referente ao levantamento de dados para o inventário é frequentemente muito abrangente se os impactos mais comuns têm de ser incluídos e, desse modo, é complexa a realização de uma ACV completa para uma edificação (que normalmente inclui uma grande quantidade de materiais). Vários estudos têm demonstrado que a simplificação do estudo para analisar apenas a utilização de energia como um indicador para o impacto ambiental é bastante eficaz, porque é a produção de energia que gera a maior parte das emissões, e também o uso da maioria dos recursos não renováveis (como carvão, petróleo e gás). Portanto, a Avaliação do Ciclo de Vida Energética (ACVE) é comumente utilizada no setor da construção (Sartori & Hestnes, 2007).

A Avaliação do Ciclo de Vida Energética é baseada na metodologia de ACV de acordo com as normas mencionadas. No entanto, a parte de avaliação do impacto é reduzida para a utilização da energia como um indicador de impacto ambiental. A ACVE considera todas as entradas de energia de uma edificação no seu ciclo de vida, incluindo as seguintes fases: pré-uso, uso e pós-uso (Quadro 1).

Quando se considera o ciclo completo, a ACVE é denominada do berço ao túmulo (estágios que incluem a energia consumida da extração de matéria-prima até o transporte de materiais de demolição), porém é possível, em alguns casos, considerar apenas parte deste ciclo, como, por exemplo, do berço ao portão (estágios que incluem a energia consumida da extração de matéria-prima até a execução de um elemento da edificação ou da própria edificação).

QUADRO 1 – Fases do inventário de uma avaliação do ciclo de vida energética.

| Fase | Estágio | Símbolo | Descrição |
|---------|---------|--------------|---------------------------------------|
| Pré-uso | 1 | E_{ext} | Extração da matéria prima |
| | 2 | E_{prod} | Fabricação de materiais e componentes |
| | 3 | $E_{tr,mat}$ | Transporte até a obra |
| | 4 | E_{exe} | Execução |
| Uso | 5 | E_{man} | Manutenção, substituição de materiais |
| | 6 | E_{op} | Energia operacional |
| Pós-uso | 7 | E_{dem} | Demolição de construção e materiais |
| | 8 | $E_{tr,dem}$ | Transporte de materiais de demolição |

Nota: E_{ext} : Etapa de Extração da materia prima; E_{prod} : Etapa de produção de materiais e componentes; $E_{tr,mat}$: Etapa de transporte de materiais e componentes até a obra; E_{exe} : Etapa de execução; E_{man} : Etapa de manutenção; E_{op} : Etapa de uso, com energia operacional; E_{dem} : Etapa de demolição; $E_{tr,dem}$: Etapa de transporte de resíduos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

A fase de pré-uso inclui todos os impactos até o estágio de execução, quando a edificação é construída e pronta para o uso. Conforme apresentado na Quadro 1, ela normalmente inclui quatro estágios: extração da matéria-prima, fabricação de materiais e componentes, transporte de materiais e componentes para o local de construção e a execução (incluindo as perdas). Esta parte é considerada como a Energia Inicial Incorporada.

A fase de uso engloba todas as atividades relacionadas com a utilização do edifício. Nesta fase são consideradas a manutenção e a energia operacional. A energia utilizada para a manutenção tem origem predominantemente a partir da utilização de material para substituição ou tratamento de superfície e é calculada da mesma forma que para os materiais na fase de pré-uso. O consumo de energia é, no entanto, referente à fase de uso, tratando-se de Energia Incorporada Recorrente (EIR). A Energia Incorporada (EI) é a soma da Energia Incorporada Inicial e da Energia Incorporada Recorrente (EIR), o que ocorre em duas fases diferentes do ciclo de vida. A outra parte da fase de uso é a energia operacional, que representa a quantidade de energia utilizada devido a exigências de aquecimento e refrigeração durante o tempo de ciclo de vida da edificação. Para Sartori e Hestnes (2007) e Ramesh *et al.* (2010), esta fase é responsável pela parte mais significativa de energia da edificação. Considerando-se, porém, o caso do Brasil, provavelmente a quantidade de energia da fase de uso da Habitação de Interesse Social não é a mais significativa, já que, em geral, utiliza-se somente o ventilador para a refrigeração dos ambientes internos.

A fase de pós-uso é o tratamento final da vida útil do edifício, incluindo, normalmente, a demolição, o transporte de resíduos para aterro e, eventualmente, a reciclagem dos materiais. Nesta fase é possível recuperar um pouco da energia incorporada alocando energia incorporada nos materiais reciclados em novos sistemas (Thormark, 2002; Blengini, 2009).

A energia total do ciclo de vida de energia finalmente é calculada como a soma das três fases (pré-uso, uso e pós-uso).

Conforme mencionado anteriormente, estudos de energia como ACVE fornecem uma base para a avaliação de melhoria, como a escolha de materiais com menos energia incorporada.

DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO: PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Foi realizado um inventário de uma habitação real do PMCMV, por meio de um estudo de caso realizado no entorno de Brasília, fornecido por uma empresa de construção local. Trata-se de uma habitação unifamiliar (Figura 1) com uma área interna de 48m². A habitação possui dois quartos, uma sala, uma cozinha, um banheiro e uma pequena área de serviço ao ar livre com um tanque. Possui ainda duas portas externas, três portas internas e cinco janelas. O sistema construtivo empregado é alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e laje de concreto armado com telha cerâmica com inclinação de 35%.

Sabe-se que é frequente, neste tipo de habitação, o uso de sistema convencional com blocos cerâmicos sem função estrutural mas com reforços, tais como pequenos pilares e

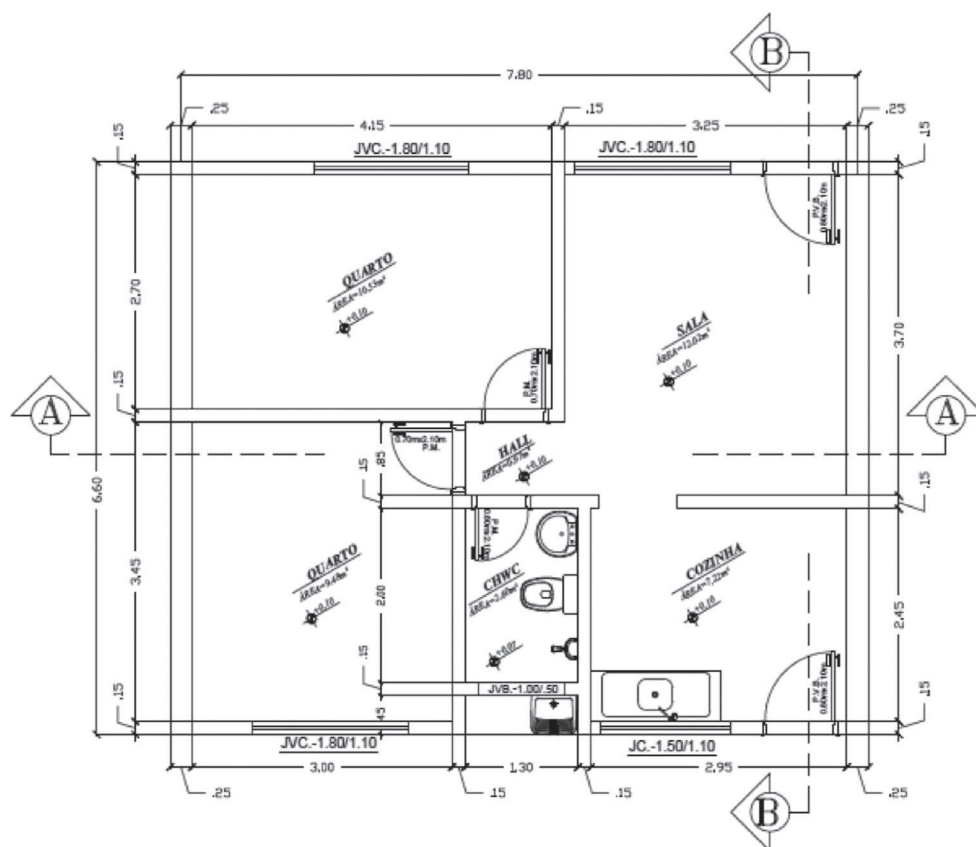


FIGURA 1 – Planta baixa da habitação do estudo de caso.
Fonte: Elaborada pelos autores (2012).

cintas de amarração de concreto; no entanto, buscando utilizar uma técnica mais adequada, escolheu-se como exemplo o uso de paredes de blocos cerâmicos com função estrutural, portanto, sem estrutura de pilares e vigas. Foram considerados, no estudo, quatro elementos principais da habitação: alvenaria (vedação vertical), telhado (vedação horizontal), piso e janelas, cujas especificações são apresentadas sucintamente (Quadro 2).

A fundação não está incluída no estudo, uma vez que depende da resistência do solo. Além disso, a instalação também não foi incluída devido à sua pequena dimensão em termos de quantidade de materiais neste tipo de habitação

MÉTODOS

UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional foi escolhida de modo a propiciar a comparação com outros estudos, e consiste em um padrão de habitação com uma área interna de 48m². Foram consideradas as funções de desempenho térmico e vida útil para atender à ABNT NBR 15575:1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012). No caso do desempenho

térmico, a espessura de paredes de 19cm (14cm do bloco mais 5cm de revestimento) atende a todas as zonas bioclimáticas brasileiras em relação aos critérios de transmitância térmica e capacidade térmica considerando-se pintura na cor branca. Para a vida útil estabeleceu-se o valor de 50 anos.

QUADRO 2 – Especificação dos elementos da Habitação de Interesse Social.

| Elemento | Descrição |
|---------------------------------|---|
| Vedação Vertical e Revestimento | Blocos cerâmicos furados estruturais com espessura de 14cm e argamassa mista (cimento, cal e areia) de 2,5cm de cada lado. Cintas de amarração superiores de concreto armado. |
| Telhado | A estrutura e a trama do telhado são de madeira de lei e a cobertura é de telha cerâmica. |
| Piso | O contrapiso é de concreto com espessura de 5cm, e revestido de placas cerâmicas |
| Portas e janelas | As portas externas e as janelas são metálicas e as portas internas são de madeira. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

COLETA DE DADOS

Os dados coletados são secundários. Oito grupos de materiais foram inventariados, sendo seis deles com dados nacionais (Sperb, 2000; Tavares, 2006; Alves *et al.*, 2007; Sposto, 2007) e dois com dados de Portugal (Torgal & Jalali, 2010).

Esses dados referem-se à energia incorporada inicial, proveniente dos estágios da extração de matéria-prima, fabricação de materiais e componentes, transporte para a obra com o material ou componente pronto para uso e transporte das perdas diretas ou resíduos até o aterro.

FASES ESTUDADAS

O estudo incluiu somente uma fase (pré-uso), que foi dividida em quatro estágios (Quadro 3).

Os estágios 1 e 2 são referentes à extração e à produção de materiais e componentes de construção. O estágio 3 refere-se ao transporte até a obra e o estágio 4 refere-se à execução da obra.

Considerando-se a energia incorporada e a intensidade de uso, adotou-se a hipótese de que os materiais e componentes mais expressivos para o caso desta habitação são o bloco cerâmico, a argamassa, o concreto, as telhas, as placas cerâmicas e a madeira, que representam os quatro elementos apresentados anteriormente na Quadro 2: alvenaria (vedação vertical) e revestimentos, telhado (vedação horizontal), piso e esquadrias.

Para o transporte foram estimadas distâncias de 100 até 400km para os materiais e componentes considerados no estudo.

QUADRO 3 – Estágios do pré-uso considerados no estudo.

| Fase | Estágio | Símbolo | Descrição |
|---------|---------|-------------|-------------------------------------|
| Pré-uso | 1 | E_{mat} | Extração de matéria prima |
| | 2 | E_{prod} | Produção de materiais e componentes |
| | 3 | $E_{tr,ob}$ | Transporte até a obra |
| | 4 | E_{ex} | Execução |

Nota: E_{ext} : Etapa de Extração da matéria-prima; E_{prod} : Etapa de produção de materiais e componentes; $E_{tr,mat}$: Etapa de transporte de materiais e componentes até a obra; E_{exe} : Etapa de execução.

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

Para a execução, o uso de energia utilizada foi considerado não significativo, já que este tipo de habitação é normalmente artesanal (não foi considerada a energia referente à mão de obra). No entanto, uma parte significativa da energia incorporada pode ser encontrada nas perdas durante esta fase, o que significa que uma porcentagem adicional de materiais tem que ser produzida. Considerou-se que o resíduo gerado é transportado por 20km para o aterro mais próximo.

Sobre as perdas, alguns autores afirmam que elas podem chegar até 25%, dependendo do tipo de material (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos, 1996; Agopyan *et al.*, 1998a, 1998b). Algumas das principais razões para essas perdas são a falta de empacotamento adequado e transporte e, no caso da habitação social, o armazenamento e a gestão precária de materiais no canteiro de obras (Sposto & Amorim, 2004).

Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos para a massa, energia incorporada, perdas e transporte, conforme o cenário estabelecido neste estudo.

TABELA 1 – Dados dos materiais e componentes obtidos para a habitação do estudo de caso.

| Materiais e componentes | Massa (Kg) | EI (MJ/kg) | Perdas % | Transporte (km) |
|----------------------------|---------------|---------------|-------------|--------------------|
| Bloco ceramico | 10586 | 3,9 | 10 | 200 |
| Argamassa | 14788 | 2,0 | 25 | 200 |
| Telha | 4032 | 3,6 | 10 | 100 |
| Madeira | 1546 | 0,5 | 15 | 400 |
| Concreto | 7360 | 1,6 | 9 | 100 |
| Placa cerâmica | 901 | 5,1 | 10 | 300 |
| Janelas e portas metálicas | 655 | 23,1 | 0 | 300 |
| Portas interna madeira | 390 | 9,2 | 0 | 300 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA

O cálculo da Energia Incorporada Inicial foi feito considerando-se os estágios de extração e produção de materiais, transporte e perdas. Para transportes foi usado o valor 1,62MJ por tonelada por quilômetro (Tavares, 2006), com o pressuposto de que todos os transportes são com caminhão. Conforme mencionado, não foi considerada a energia gasta na execução decorrente da mão de obra e equipamentos de produção.

Para a visualização das energias incorporadas em cada um dos elementos da habitação, foram consideradas: paredes, pisos, telhados e esquadrias (janelas e portas). Com base nos quantitativos do estudo de caso, e a partir da massa dos materiais e de posse da sua energia incorporada, obtiveram-se as energias incorporadas de cada um desses elementos em Megajoule (MJ) e, por fim, foi calculada a energia incorporada total da habitação.

RESULTADOS

ENERGIA INCORPORADA NA FASE DE PRÉ-USO

Na Figura 2 são apresentadas, para o estudo de caso considerado, as fases de pré-uso e a EI correspondente a cada uma das etapas existentes desta fase, que são a extração, a produção de materiais e componentes e as perdas. A energia incorporada na fase de pré-uso foi estimada em 151GJ, sendo que o transporte constitui 16GJ e os resíduos (perdas) 15GJ.

Ainda, a contribuição da EI para os diferentes elementos de construção é apresentada na Figura 3. Nesta figura pode ser visto que as paredes contém 62% do total de energia incorporada, o telhado 12%, o piso 13% e as janelas e as portas 13%.

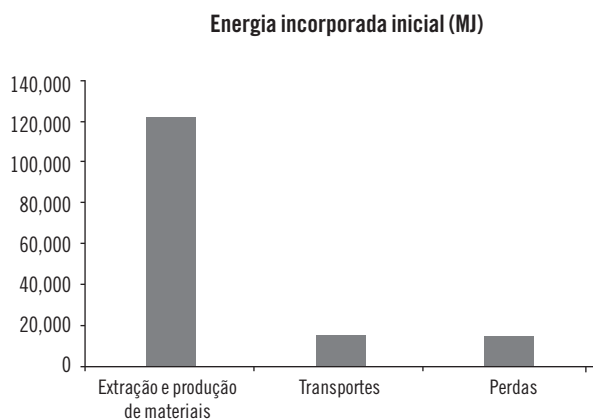


FIGURA 2 – Energia incorporada inicial nos estágios da fase de pré-uso.
Fonte: Elaborada pelos autores (2012).

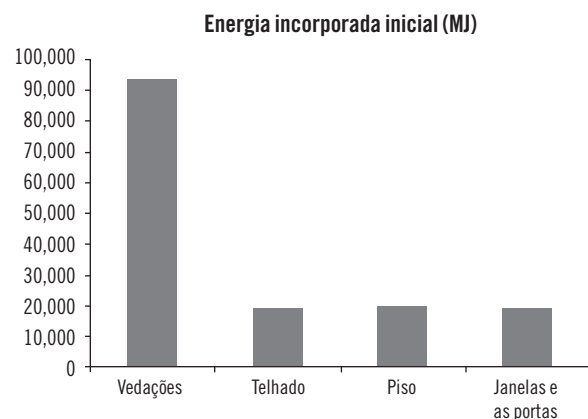


FIGURA 3 – Energia incorporada inicial nos elementos da habitação.
Fonte: Elaborada pelos autores (2012).

CONCLUSÃO

O estudo de caso mostrou que a Energia Incorporada Inicial (EII) em uma habitação do PMCMV é 3,2GJ/m².

Este resultado pode ser comparado com dados internacionais de outros estudos, por exemplo, na Índia (entre 0,82-0,84GJ/m²), Noruega (entre 1,8-4,3GJ/m²), Suécia (entre 2,6-3,3GJ/m²) e Nova Zelândia (entre 4,4-5,1GJ/m²). Em média, tem-se um valor de 2,9 GJ/m². Isso ainda mostra que temos Energia Incorporada Inicial relativamente alta.

Observou-se que cerca de 60% da EII é usada na construção de paredes, indicando haver neste elemento o maior potencial de melhoria para reduzir a EI, com diversas possibilidades, tais com a escolha de materiais e elementos com menor EI.

A energia térmica utilizada para a queima dos blocos cerâmicos, baseada na lenha — comum na maior parte do Brasil — é, em parte, responsável por este alto percentual; este problema pode ser minimizado com o uso do gás, que é empregado em alguns locais do Brasil, por exemplo, no estado de São Paulo. A viabilidade, porém, de fornecimento para este fim para a extensa região territorial nacional deve ainda ser melhor analisada.

Embora não tenha sido escopo deste trabalho, também é observada a necessidade de pesquisas de outros tipos de combustíveis para a queima de blocos cerâmicos, utilizando-se biomassa tais como pó de serra, bagaço de cana e outros resíduos industriais que tenham bom poder calorífico. Desta forma, o impacto ambiental derivado do uso de lenha de desmatamento pode ser minimizado, além do fator positivo da possibilidade de aproveitamento de resíduos.

Em relação às perdas, considerou-se para a argamassa de revestimento e para os blocos cerâmicos percentuais de 25% e 10%, respectivamente. Mesmo considerando bloco estrutural, o percentual de perda ainda é alto, devido à não conformidade com normas e modulação por vezes inadequada. Já no caso da argamassa, é comum que neste tipo de habitação ela seja rodada em obra, o que explica o seu maior percentual de perdas quando comparada à argamassa industrializada.

Por fim, este trabalho serve como subsídio para estudos de ACVE completa, considerando a fase de uso e pós-uso, e empregando outros tipos de materiais, para que, por meio da comparação de seus resultados, possam ser especificados elementos para projetos mais adequados a cada situação brasileira. Também é possível visualizar a importância de outros estudos com ACV completa, nos quais se avalie não somente a energia consumida no ciclo da habitação, mas também os impactos ambientais de cada uma das soluções adotadas para os elementos considerados, tais como esgotamento de recursos naturais, aquecimento global, acidificação e outros.

REFERÊNCIAS

- AASHISH, S. *et al.* Life cycle assessment of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, p.871-875, 2011.
- AGOPYAN, V. *et al.* Pesquisa: alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras — resultados e análises: aço, concreto usinado e blocos/tijolos. São Paulo: EPUSP, 1998a. (Relatório Técnico – 4).
- AGOPYAN, V. *et al.* Pesquisa: alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras — resultados e análises: eletrodutos, condutores, tubos de PVC, placas cerâmicas, tintas, revestimento têxtil, gesso. São Paulo: EPUSP, 1998b. (Relatório Técnico – 5).
- ALVES, H.J.; MELCHIADES, F.G.; BOSCHI, A.O. Levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v.12, p.10-16, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14040*: gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14044*: gestão ambiental -Avaliação do ciclo de vida — requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575*: edificações habitacionais — desempenho — Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BLENGINI, G.A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, v.44, p.319-330, 2009.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Plano Nacional de Habitação: Programa Minha Casa Minha Vida*. 2009. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 13 ago. 2012.
- CITHERLET, S.; DEFAUX, T. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. *Building and Environment*, v.42, p.591-598, 2007.
- GARCIA, F. Brasil 2022: planejar, construir, crescer: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO, 9., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo: FIESP, 2009.
- KUHN, E.; SATTLER, M.A. Avaliação ambiental de protótipo de habitação de interesse social mais sustentável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2009, Florianópolis. *Anais...* Santa Catarina: ENTAC, 2006. 1 CD-ROOM.
- PFEIFER, M. Passos para cumprir uma agenda verde. *Valor Setorial: Construção Civil*, v.9, p.8-14, 2011.
- RAMESH, T.; RAVI PRAKASH, K.; SHUKLA, K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, v.42, p.1592-1600, 2010.
- SARTORI, I.; HESTNES, A.G. Energy use in the life cycle of conventional and lowenergy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, v.39, p.249-257, 2007.
- SPERB, R.S. Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- SPOSTO, R.M. *Gestão e tecnologia para a qualidade e sustentabilidade na produção de blocos cerâmicos e alvenaria no Distrito Federal*. Brasília: UnB, 2007. (Relatório Técnico).
- SPOSTO, R.M.; AMORIM, C.N.D. Preliminary analyses of sustainability of ceramic components to masonry for social housing: Aspects of culture, industry capacity, quality and recycling in Brasília Distrito Federal. In: BUILDING FOR THE FUTURE: THE CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 16., 2004, Toronto. *Proceedings...* Rotterdam (Netherlands): CIB, 2004. p.10.

SPOSTO, R.M.; PAULSEN, S.J. An embodied energy analysis of social housing in Brazil: Case. study for the program my house my life. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, v.12, n.5, p.40-46, 2012.

TAVARES, S.F. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TABELAS de composições de preços para orçamentos. São Paulo: Pini, 1996.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle: Its embodied energy, energy, need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, v.37, p.429-435, 2002.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. *A sustentabilidade dos materiais de construção*. Barbudo: TecMinho. 2010.
UTAMA, A.; GHEEWALA, S.H. Life cycle energy of single landed houses in Indonesia. *Energy and Buildings*, v.40, p.1911-1916, 2008.

WINTHER, B.N.; HESTNES, A.G. Solar versus green: The analysis of a Norwegian Row House. *Solar Energy*, v.66, n.6, p.387-393, 1999.

Recebido em
31/10/2012,
reapresentado em
23/7/2013 e aceito
para publicação em
29/8/2013.

ROSA MARIA SPOSTO Universidade de Brasília | Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil | *Campus* Darcy Ribeiro, Asa Norte, 709109-900, Brasília, DF, Brasil | Correspondência para/*Correspondence to*: R.M. SPOSTO | *E-mail*: <rmsposto@unb.br>.

JACOB SILVA PAULSEN Universidade de Brasília | Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil | Brasília, DF, Brasil.