



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EMISSÕES DE CO₂ E DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO SISTEMA CONSTRUTIVO CASA EXPRESS NA CIDADE DE TERESINA – PI¹

LIRA, Júlia (1); CALDAS, Lucas (2); SILVEIRA, Ana (3); SPOSTO, Rosa (4)

(1) UnB, e-mail: juliasanttiago@gmail.com; (2) COPPE/UFRJ, e-mail: lrc.ambiental@gmail.com; (3) UFPI, e-mail: c_silveira@uol.com.br; (4) UnB, e-mail: rmsposto@unb.br

RESUMO

Com o aumento do déficit habitacional brasileiro, surgiram maiores investimentos governamentais visando incentivar a construção de habitações. Com isso, novos sistemas construtivos racionalizados foram criados, entre eles o Casa Express, que possui avaliação no PBQP-H/SINAT. Além disso, há necessidade de se avaliar o desempenho ambiental deste sistema, considerando-se indicadores como consumo de energia, emissões de CO₂, entre outros. Neste trabalho, foram consideradas as emissões de CO₂ devido a sua importância em termos de aquecimento global. O local escolhido para a avaliação é a cidade de Teresina (PI), onde o sistema tem sido bastante utilizado. Dessa forma, os objetivos deste trabalho são: a) verificação do atendimento do desempenho térmico nesses sistemas em relação ao recomendado pela norma brasileira de desempenho e b) avaliação do ciclo de vida de emissões de CO₂ (ACVCO₂) de habitações executadas com o sistema Casa Express, comparativamente ao sistema construtivo convencional, constituído por blocos cerâmicos furados. Para a quantificação das emissões de CO₂ na etapa de pré-uso foram utilizados dados da literatura e para etapa operacional a simulação termoenergética no software DesignBuider. Ao final, foi possível verificar que o sistema construtivo Casa Express apresentou pior desempenho térmico e maior quantidade de emissões de CO₂.

Palavras-chave: Casa Express. Desempenho térmico. Emissões de CO₂. Habitação de interesse social.

ABSTRACT

With the increase housing deficit in the Brazil, there were major government investments to encourage the construction of habitações. Thus, new building systems rationalized were created, including the Casa Express, which has reviewed the PBQP-H / SINAT. In addition, it is necessary to consider the environmental performance of the system, considering indicators such as energy consumption, CO₂ emissions, and others. This work was considered CO₂ emissions due to its importance in terms of global warming. The place evaluated is the city Teresina (PI), where the system has been quite used. The work's objectives are: a) verifying the fulfillment of the thermal performance in these systems as recommended by the Brazilian standard of performance and b) assessment of life cycle CO₂ emissions (ACVCO₂) of house constructed with the Casa Express system over its life cycle compared to conventional

¹ LIRA, Júlia; CALDAS, Lucas; SILVEIRA, Ana; SPOSTO, Rosa. Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO₂ e desempenho térmico de habitações: estudo de caso do sistema construtivo Casa Express na cidade de Teresina – PI. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

building system consisting of perforated ceramic blocks. For quantification of CO₂ emissions in the pre-use phase were used literature data and in the operational phase were used simulation in DesignBUILDER software. At the end, we found that the building system Casa Express showed worse thermal performance and greater amount of CO₂ emissions.

Keywords: Casa Express. CO₂ emissions. Thermal performance. Social housing.

1 INTRODUÇÃO

O programa de incentivo para a construção civil denominado “Minha Casa Minha Vida” tem sido aplicado em várias cidades brasileiras, tendo como um de seus objetivos principais a diminuição do déficit habitacional. Em Teresina-PI, este déficit era de 51 mil unidades em 2010, segundo aponta a Agência de Desenvolvimento Habitacional (ADH, 2011). Porém, entre 2007 e 2012, houve redução em 37% na capital pelo avanço da construção e entrega de habitações populares (IBGE, 2012).

Para atender esta demanda, o sistema construtivo convencional feito com blocos cerâmicos de vedação fabricados na própria região foi substituído, em grande parte, pelo sistema Casa Express que é um sistema racionalizado com maior agilidade de construção.

Por se tratar de um sistema inovador, este não possui, até o momento, uma norma brasileira própria, cabendo as empresas detentoras da tecnologia requererem o Documento de Avaliação Técnica (DATec) segundo diretrizes definidas pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores (SINAT), do Programa Brasileiro de Produtividade e Qualidade no Habitat (PBQP-H). O sistema Casa Express já possui DATec junto ao SINAT.

Além do atendimento aos critérios da norma de desempenho, a ABNT NBR 15575:2013, considerando o grande investimento para o programa “Minha Casa, Minha Vida”, Paulsen e Spoto (2013) discutem a importância de analisar o impacto ambiental para obter uma visão geral da magnitude deste programa e criar uma base para avaliação de diferentes cenários de tipos de habitações.

Para quantificar os impactos ambientais de um produto ou serviço, tem-se utilizado a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Segundo a NBR ISO 14040 (2009), na ACV são avaliados os aspectos e impactos ambientais de sistemas de produto, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final, de acordo com o objetivo e escopo estabelecidos. Aplicada à construção civil, esta metodologia pode ter como foco o estudo de materiais, de componentes, de sistemas ou até da edificação (CABEZA et al., 2014).

Em 2014, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 485,2 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente-CO_{2eq} (BRASIL, 2015). Neste sentido, uma importante ferramenta para quantificar o total de emissões é a Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂ (ACVCO₂). Nesta ferramenta, conforme Atmaca et al. (2015), são consideradas as principais saídas de emissões de carbono de um material, componente, sistema ou edificação ao longo de diferentes fases

do seu ciclo de vida.

No âmbito nacional, alguns trabalhos relevantes têm aplicado a ACVCO₂. Dentre eles, destaca-se o de Tavares e Lamberts (2008) que quantificaram o CO₂ incorporado em edificações residenciais brasileiras, observando que a geração de CO₂ é compatível com a de países desenvolvidos, que possuem matriz energética menos sustentável. Isso ocorre especialmente pelo fato das construções brasileiras possuírem grande desperdício de materiais, elevado uso de cimento e materiais com alto índice de CO₂ incorporado, como a cerâmica vermelha.

Mazzarotto *et al.* (2010) correlacionaram desempenho energético de sistemas de fachada com o consumo de CO₂ dos mesmos sistemas. O estudo analisou algumas soluções de fachadas, associadas às estratégias passivas de ventilação natural e noturna, para o mesmo edifício, com o objetivo de identificar melhorias no seu desempenho quanto aos impactos de gasto energético para condicionamento e emissões de CO₂.

A norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais (ABNT NBR 15575/2013) considera, para os requisitos de desempenho térmico, oito zonas bioclimáticas classificadas na norma de desempenho térmico (ABNT NBR 15220-3: 2005). Isto gera uma reflexão sobre as diferentes situações climáticas das cidades brasileiras e a importância da análise da adequação de certos sistemas para estas cidades. No presente trabalho, foi escolhida a zona bioclimática 7, referente a cidade de Teresina-PI.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho consistiu-se na avaliação do desempenho térmico e quantificação das emissões de CO₂ para o sistema de vedação vertical Casa Express, comparativamente ao convencional, constituído de blocos cerâmicos, para a cidade de Teresina-PI. Foram consideradas as fases de pré-uso (extração, transporte e execução) e a fase operacional do ciclo de vida da edificação.

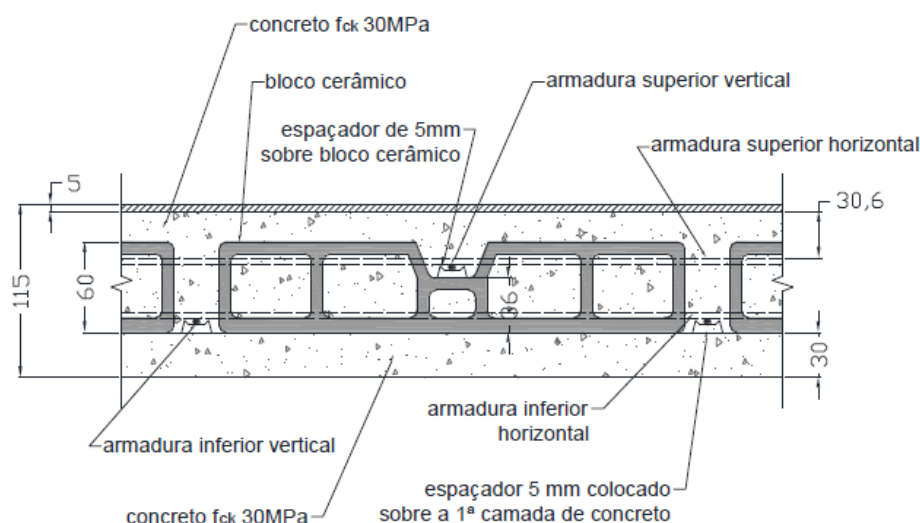
2 SISTEMA CASA EXPRESS

Sistemas inovadores surgiram para atender a grande demanda construtiva existente no país, como forma de aumentar a produtividade, diminuição de perdas e racionalização da construção civil (AMANCIO; FABRICIO, 2015).

Neste trabalho considerou-se o sistema inovador Casa Express que é, segundo o DATec 009b (2014), composto por paredes estruturais constituídas de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, e das ligações entre os painéis. São consideradas ainda as interfaces entre painéis de parede e esquadrias e entre painéis de parede e instalações.

O corte esquemático da parede Casa Express é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Corte esquemático de um painel Casa Express



Fonte: DATec nº 009b - SINAT, 2014

Na Figura 2a, observa-se que os blocos cerâmicos (fabricados especialmente para fabricação do sistema Casa Express) são justapostos sobre a primeira camada de concreto juntamente com as armaduras, conforme especificado no projeto. Após esse arranjo, a segunda camada de concreto é aplicada, e posteriormente são dispostas as tubulações elétricas e hidráulicas, para serem capeadas por uma argamassa já sarrafeada e por fim é aplicado revestimento argamassado (reboco) na face interna.

A espessura final das vedações verticais da Casa Express é de 115 mm e a montagem no local definitivo deve ser feita com o auxílio de guinchos (Figura 2b).

Figura 2 – Processo de fabricação de paredes de habitações populares no sistema Casa Express (a) e içamento dos painéis (b)



(a)



(b)

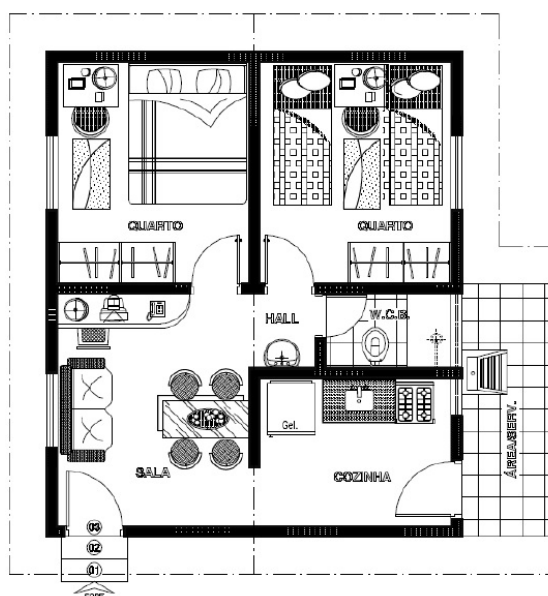
Fonte: Os autores

3 METODOLOGIA

Foi considerado no estudo um projeto já utilizado em um conjunto habitacional localizado na zona norte de Teresina, que possui cerca de quatro mil habitações (ADH, 2011). A planta baixa humanizada da habitação é apresentada na Figura 3 e possui 36 m² distribuídos em cinco cômodos.

A habitação é constituída por uma sala, dois quartos, um banheiro, uma cozinha e uma área de serviço externa. Possui duas portas externas, três internas (de material metálico) e cinco janelas (de alumínio e vidro). A vida útil da edificação foi adotada de 50 anos (ABNT NBR 15575/2013) e a unidade funcional foi considerada toda a unidade habitacional. Para a simulação, foi adotada orientação Norte a fachada da sala e quarto.

Figura 3 – Planta baixa da habitação analisada



Fonte: ADH, 2011

3.1 Sistemas construtivos

O sistema convencional é o processo construtivo mais utilizado em Teresina e é composto por pilares e vigas de concreto armado e blocos cerâmicos de vedação com seis furos (dimensões iguais a 9x14x19 cm). A variável deste trabalho são as vedações verticais (paredes internas e externas), já que a cobertura é igual nos dois sistemas e é composta por estrutura em madeira com sombreamento em telha cerâmica e forro de PVC.

Os sistemas de vedações verticais demandam uma importante parcela da massa e energia incorporada em todo o ciclo de vida de uma habitação, justificando seu estudo para contribuição dos bancos de dados dos índices de sustentabilidade no Brasil (TAVARES, 2006; PAULSEN; SPOSTO, 2013; PEDROSO, 2015).

3.2 Avaliação do desempenho térmico

Foi realizada a avaliação somente para o procedimento simplificado da norma ABNT NBR 15575-4 (2013), por meio do cálculo da transmitância e capacidade térmica dos sistemas de vedação vertical, e ao final verificando se os valores obtidos atendem os critérios definidos pela norma.

Para o sistema de vedação convencional, o valor de sua transmitância térmica (U) e da sua capacidade térmica (Ct) está contido no catálogo da ABNT NBR 15220-2 (2005). Para o inovador, os valores de U e Ct foram calculados conforme procedimentos indicados pela própria norma.

3.3 Fase de pré-uso da ACVCO₂

Com base no projeto arquitetônico, foram levantados os materiais e componentes utilizados na vedação vertical dos dois sistemas. Para a etapa de pré-uso foi elaborada a Tabela 1. Esta fase foi dividida em três etapas: (1) emissões de CO₂ da extração e processamento dos materiais (ECO₂I); (2) transporte dos materiais e componentes (ECO₂T); e (3) execução dos sistemas (ECO₂E).

Para o cálculo das emissões de CO₂ da fase de extração e processamento dos materiais e componentes foi empregada a equação 1.

$$ECO_2I = \text{Quantidade} \times FCO_{2eq} \quad (1)$$

Q – quantidade de materiais utilizados na habitação (kg ou m³);

FCO₂ – fator de emissões (kgCO_{2eq}/kg ou kgCO_{2eq}/m³);

ECO₂I – emissões da etapa da extração e processamento dos materiais (kgCO_{2eq});

Tabela 1 – Resumo do quantitativo de vedações verticais dos dois sistemas

	Materiais e Componentes	Quantidade	FCO ₂ equiv (kgCO _{2eq} /UM) ¹	Distância Fábrica - Canteiro (Km)
CASA EXPRESS	Areia	14,15 m ³	0,01	15
	Brita	11,69 m ³	0,02	32
	Cimento Portland	5399,41 kg	0,37	429
	Cal hidratada	281,68 kg	0,78	10
	Lajota cerâmica	11880,00 kg	0,24	2681
	Aço	532,41 kg	1,95	35
	Madeira compensada	0,08 m ³	73,22	18
CONVENCIONAL	Areia	7,85 m ³	0,01	15
	Brita	1,16 m ³	0,02	32
	Cimento Portland	2123,99 kg	0,37	429
	Cal Hidratada	563,37 kg	0,78	10
	Bloco cerâmico 6 furos	17998,20 kg	0,24	42
	Aço	122,08 kg	1,95	35
	Madeira compensada	0,01 m ³	623,55	18
	Madeira Serrada	0,04 m ³	73,22	18

Fonte: Os autores

¹ Extraídos de Silva e Silva (2015)

Para o cálculo de emissões de CO₂ na fase de transportes dos materiais e componentes até o local da obra, foi utilizado consumo médio de diesel igual a 0,0136 L/T.km e o litro de diesel emitindo 3,15 kg CO₂ (NABUT NETO, 2011).

A execução dos sistemas se tornou necessária no estudo pelo uso significativo de equipamentos de grande porte para execução do sistema Casa Express. Para o sistema convencional apenas o uso de betoneira foi considerado. Para o sistema Casa Express foi considerado o uso de betoneira, vibrador de imersão e caminhão guindaste para transporte dos painéis da pista até o local da habitação, considerando uma média de 4 km (trajeto de ida e volta). Para o cálculo da execução dos sistemas (ECO₂E) foi utilizada a equação 2.

Como todos os equipamentos utilizam energia elétrica direto da rede foi adotado o FCO₂ de 0,036 kgCO₂/MJ e 1 kWh = 3,6 MJ, obtidos do Balanço Energético Nacional (BEN).

$$ECO_2E = 3,6 \times P \times T \times FCO_{2eq} \quad (2)$$

Onde,

P – potência dos equipamentos (kWh);

T – tempo de uso do equipamento para a execução da habitação (h);

FCO_{2eq} – fator de emissões (kgCO_{2eq});

ECO₂E – emissões da etapa de execução da habitação (kgCO_{2eq}).

3.4 Fase operacional da ACVCO₂

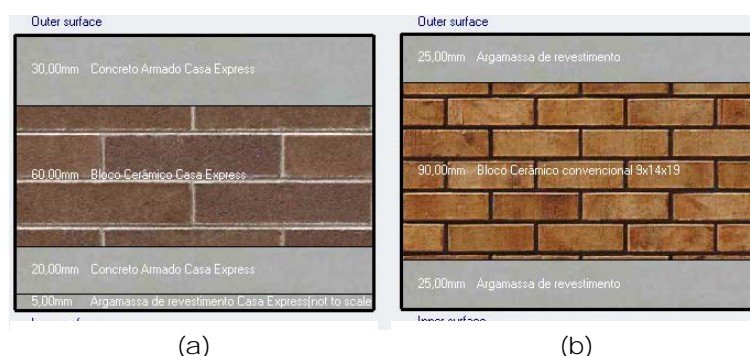
Para a fase operacional foi empregada a simulação computacional para quantificação do consumo energético proveniente do uso de equipamentos para condicionamento artificial. A simulação foi realizada no software *DesignBuilder* versão 4.6.0.015 (DESIGN BUILDER, 2016), que é uma ferramenta integrada com o *EnergyPlus*, que é o software recomendado pela Norma de Desempenho e o Procel Edifica.

A diferença do tipo de vedação vertical entre os dois sistemas acarreta em uma maior ou menor necessidade do uso de equipamentos de condicionamento ambiental por causa das diferentes propriedades térmicas dos materiais e componentes que compõem essas vedações.

No programa de simulação computacional *DesignBuilder*, os resultados de energia operacional foram baseados na energia utilizada para os sistemas de resfriamento, de acordo com agenda de ocupação da habitação pré-determinada. Os outros equipamentos utilizados (refrigerador, televisão e etc.) foram mantidos constantes nos dois sistemas, típicos de uma habitação baixo padrão.

A agenda adotada para simulação foi: para dias da semana com o aparelho *split no fresh air* ligado das 18-24 horas de segunda a sexta e finais de semana das 12-24 horas. Para a energia dos outros equipamentos eletrônicos foi adotado o valor de 161 kWh/mês (3,35 kWh/mês/m²), extraído de Paulsen e Sposto (2013), para habitações de baixo padrão. Na Figura 4, os cortes transversais das vedações verticais dos dois sistemas construtivos foram extraídos do software.

Figura 4 – Cortes transversais das vedações verticais: (a) Casa Express; (b) sistema convencional



Fonte: Os autores

No software não é possível modelar sistemas heterogêneos de vedação. Os blocos cerâmicos são um exemplo desses materiais, pois possuem camadas de ar que intercalam com a camada maciça de material diferentemente de um elemento homogêneo que possui uma placa homogênea constituída por um único material (ABNT NBR 15220:2005). Para equivaler a diferença do

sistema, a espessura apresentada na Figura 4 foi variada automaticamente no software e fixado o valor da transmitância térmica, artifício existente no programa.

O resultado gerado pelo software foi em kWh/ano, que é o total de energia consumida por equipamentos de condicionamento artificial. Para obter resultado em emissões de CO₂ (ECO₂O), uma conversão foi necessária e foi utilizado o fator de emissões para eletricidade, de 0,036 kgCO₂/MJ, apresentada anteriormente. Ao final o valor anual foi multiplicado pela vida útil, de 50 anos.

4 RESULTADOS

As propriedades dos materiais que compõem a vedação dos sistemas estudados impactam no desempenho térmico e conseqüentemente se relacionam com a emissão de CO₂ da fase operacional. Para compreensão clara desta relação, a seção foi dividida em resultados para avaliação do desempenho térmico e ACVCO₂.

4.1 Avaliação do desempenho térmico

Pela norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), tem-se as estratégias para a zona bioclimática que Teresina está inserida: exigência de desumidificação para melhorar a sensação térmica, o uso de paredes e coberturas com maior massa térmica, ventilação cruzada e uso da refrigeração artificial, que foi verificada na simulação termoenergética da habitação.

Com o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais, foi possível analisar a adequação dos dois sistemas ao recomendado pela norma em relação à zona bioclimática de Teresina. O resultado está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado das propriedades térmicas dos sistemas

	Transmitância térmica $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{.K}$	Capacidade térmica $Ct \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{.K}$
Sistema Casa Express $U = 3,71 \text{ Ct} = 234,36$	NÃO ATENDE	ATENDE
Sistema convencional $U = 2,48 \text{ Ct} = 159$	ATENDE	ATENDE

Fonte: Os autores

4.2 ACVCO₂

O resultado da fase de pré-uso apresenta o consumo de CO₂ incorporado na extração e processamento dos materiais juntamente com o resultado do cálculo do transporte de cada material ao sítio da obra, incluindo o transporte dos painéis da pista de concretagem ao local da casa. Esses resultados estão mostrados na Tabela 3 para toda a unidade habitacional (36 m²).

Tabela 3 – Cálculo do total de CO₂ incorporado na extração das matérias primas

	Material	ECO ₂ I (kgCO _{2eq})	ECO ₂ T (kgCO ₂)
CASA EXPRESS	Areia	0,16	13,639
	Brita	0,23	26,442
	Cimento Portland	1997,78	99,232
	Cal hidratada	219,71	0,121
	Lajota cerâmica	2851,20	1364,466
	Aço	1038,20	0,798
	Chapa de madeira	5,64	0,062
	Painéis da pista - casa	-	3,352
	Total	6112,92	1508,112
CONVENCIONAL	Areia	0,08	7,567
	Brita	0,02	2,624
	Cimento Portland	785,88	39,035
	Cal Hidratada	439,42	0,241
	Bloco cerâmico 6 furos	4319,57	32,384
	Aço	238,05	0,183
	Madeira MDF	5,49	0,008
	Madeira Serrada	3,22	0,020
	Total	5791,73	82,062

Fonte: Os autores

O total gerado pelo uso dos equipamentos na execução dos sistemas está apresentado na Tabela 4. Não está incluído na pesquisa o valor de mão de obra por não apresentar diferença na qualificação do trabalhador entre os dois sistemas estudados e nem significância na quantidade.

Tabela 4 – Cálculo do total de CO₂ gerado na execução (ECO₂E)

	Equipamento utilizado	Horas de utilização	Total de kWh	Total em MJ	ECO ₂ E
CASA EXPRESS	Betoneira Fischer 400 L	23,56	35,34	127,22	4,580
	Vibrador EP-VE35	3,64	2,11	7,60	0,274
CONV.	Betoneira Fischer 400 L	3,81	5,72	20,57	0,741

Fonte: Os autores

Para a etapa operacional, a Tabela 5 resume o total de CO₂ gerado no uso de equipamentos para condicionamento artificial na habitação. Excluiu-se a fase de manutenção da edificação.

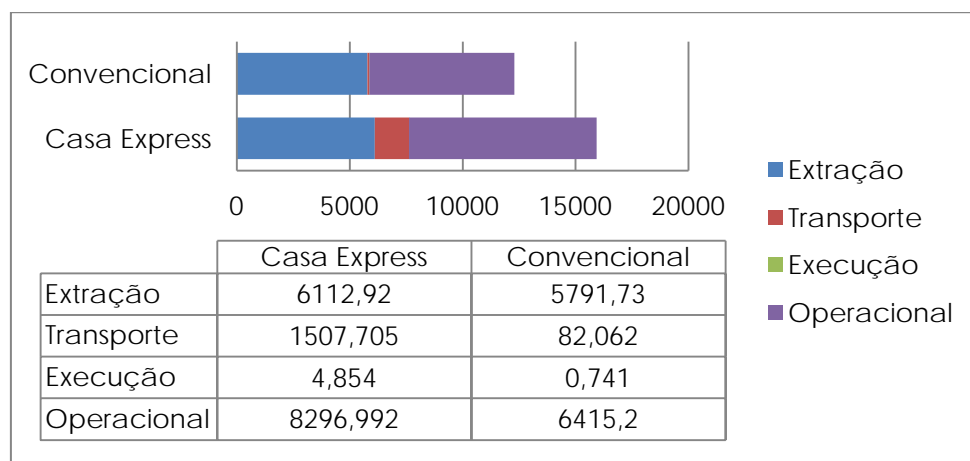
Tabela 5 – Total de CO₂ gerado na fase operacional da habitação (ECO₂O)

	Total do uso de ar condicionado (kWh/mês/m ²)	Total do uso de equipamentos (kWh/mês/m ²)	Total de kWh/mês/m ²	Total de kg CO ₂ /mês/m ²	ECO ₂ O (50 anos)
CASA EXPRESS	7,32	3,35	10,67	0,38	8296,99
CONVENCIONAL	4,9	3,35	8,25	0,30	6415,20

Fonte: Os autores

O uso expressivo de concreto armado ocasionou um aumento do valor da transmitância do sistema inovador, mas também proporcionou um aumento da capacidade térmica, sendo favorável neste ponto. Porém, também foi responsável pelo aumento de emissões de CO₂ em todas as fases analisadas, especialmente na fase de extração e processamento das matérias-primas, já que o aço e o cimento possuem alto valor de CO₂ incorporado.

O total da quantidade de emissão de CO₂ (ECO₂TOT) por sistema construtivo e por cada fase analisada está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Total de CO₂ gerado nas fases analisadas

Fonte: Os autores

Dessa forma, os motivos que desfavoreceram o sistema Casa Express foram: (1) na fase de extração com o elevado uso de cimento e aço; (2) na fase de transporte por conta da grande distância de transporte das lajotas cerâmicas; (3) na fase de execução o maior uso de equipamentos para concreto armado e transporte dos painéis; e, por fim, (4) na fase operacional, o sistema de vedação com menor valor de resistência térmica favorece a passagem de calor aumentando o uso de equipamentos para condicionamento artificial.

5 CONCLUSÕES

A quantidade de emissões de CO₂ em todas as fases avaliadas do sistema Casa Express foi superior ao sistema convencional, com uma diferença total de 33%.

Em relação ao desempenho térmico, há atendimento à norma, para a cidade de Teresina, para os valores de capacidade térmica, enquanto que em relação à transmitância apenas o sistema convencional consegue atender.

O total de emissões de CO₂ apresentou uma correlação com o desempenho térmico na fase operacional. Como observado no sistema Casa Express, o alto valor de transmitância térmica requereu maior consumo energético de equipamentos para condicionamento artificial, elevando o valor das emissões de CO₂. Portanto, o sistema deve ser cuidadosamente escolhido para dada localidade e contribuir para melhor sustentabilidade da edificação e conforto do usuário.

Recomenda-se para estudos futuros a avaliação do desempenho térmico e ambiental de outros sistemas de vedação vertical como também a utilização de outros indicadores ambientais além das emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS

Agência de Desenvolvimento Habitacional. **Teresina: ADH**, atualizada em: 03/07/2013; Disponível em: <<http://www.adh.pi.gov.br/index.php>> . Acesso em: 08/07/2013.

AMANCIO, R. C. A.; FABRICIO, M. M. Avaliação técnica do produto de construção inovador: contexto brasileiro e internacional. In: FABRICIO, M. M.; ONO, R (Ed.).

Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras – Manutenção e percepção dos usuários. Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 13-26.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.575-1**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.575-4**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ATMACA, A.; ATMACA, N. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy and Building**, v. 102, p. 417-437, 2015.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética EPE. **Balanco Energético Nacional 2015 ano base 2014**. Brasil, 2015.

CABEZA, L. F.; RINCÓN, L.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 29. p. 394-416. 2014.

DESIGNBUILDER. **Site oficial do software Design Builder**. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/content/view/7/13/>>. Acesso em 04/12/2015

DIRETRIZ SINAT DATEc nº 009b – “**Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes - CASA EXPRESS**”, publicada em junho de 2014.

IBGE. Censo Demográfico 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10/10/2015.

MAZZAROTTO, A.; FERNANDES, V.; TAVARES, S. Influência do desempenho térmico das fachadas nas emissões de CO₂, na fase operacional, em edifícios de escritórios em Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13, 2010, Canela. **Anais do XIII ENTAC**. Canela. ANTAC 2010. p.1-10.

NABUT NETO, A. C. **Energia Incorporada e emissões de CO₂ de fachadas. Estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília, DF**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-009A/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117 p. 2011.

PAULSEN, J.; SPOSTO, R. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Building** (Online), v. 57, p. 95-102, 2013.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 226p, 2015.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 5. p. 129-151.

TAVARES, S. LAMBERTS, R. CO₂ embutido em edificações residenciais brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, 2008, Fortaleza. **Anais do XII ENTAC**. Fortaleza. ANTAC 2008. p. 1-10.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado, PPGEC, UFSC, Florianópolis, SC, 2006.