



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

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

ESTUDO SISTEMÁTICO SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES¹

ZINA, Carolina Mendonça (1); DURANTE, Luciane Cleonice (2); CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio (3); ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho (4); VILELA, Jhonatha Correia (5); MEDEIROS, Larissa Mendes (6)

(1) UFMT, e-mail: carolinamzina@gmail.com; (2) UFMT, e-mail: luciane.durante@hotmail.com; (3) UFMT, e-mail: ivancallejas1973@gmail.com; (4) UFMT, e-mail: karyna.rosseti@gmail.com; (5) UFMT, e-mail: jcorreiavilela@gmail.com; (6) IFMT, e-mail: larissa.medeiros@ifmt.edu.br

RESUMO

O setor da construção civil tem grande influência na busca por soluções que consumam a energia de forma mais sustentável, pois o mesmo é responsável pelo consumo de grande parcela da energia produzida mundialmente. Este estudo teve por objetivo elaborar uma revisão sistemática acerca do tema Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) aplicada às edificações. Por meio de busca em cinco bancos de dados: do IBICT; do banco de teses da CAPES; do Portal de Periódicos CAPES/MEC; da Biblioteca Sophia (UFPR) e do repositório digital LUME (UFRGS), foram encontrados 432 trabalhos, tendo sido selecionados para o estudo oito trabalhos publicados nos últimos dez anos (2005-2015). Os trabalhos abordaram a metodologia da ACVE para identificar os impactos nas etapas pré-operacional, operacional e pós-operacional relacionados à edificação. Conclui-se que, apesar de se ter uma produção qualitativa do assunto, ainda há carência de dados referentes à energia embutida de materiais construtivos da indústria brasileira, fazendo com que se utilizem dados internacionais não representativos da realidade nacional.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Construção. Energia embutida.

ABSTRACT

The construction sector has great influence in the search for solutions that consume energy more sustainably, because it is responsible for consuming large portion of the energy produced worldwide. This study aimed to carry out a survey on the subject of Life Cycle Analysis of Energy (ACVE) applied to buildings in the systematic review format. By searching in five databases: IBICT; Bank of CAPES theses; Portal of CAPES Periodicals / MEC; Sophia Library (UFPR) and digital repository LUME (UFRGS), were found 432 jobs and was selected to this study eight papers published in the last ten years (2005-2015). The jobs addressed the methodology ACVE to identify the impact on pre-operational, operational and post-operational phases related to the building. Were conclude that, although there was a qualitative production of the subject, there is still lack of data on the embodied energy of building materials of the Brazilian industry, making them use international data that is not representative of the national reality.

Keywords: Sustainability. Construction. Embodied energy.

¹ ZINA, Carolina Mendonça; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio; ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho; VILELA, Jhonatha Correia; MEDEIROS, Larissa Mendes. Estudo sistemático sobre avaliação do ciclo de vida energético em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica usada para avaliar os impactos ambientais de um produto ao longo de todo ciclo de vida, isto é do berço ao túmulo, desde a extração da matéria prima até o descarte final, passando pela fase de produção e uso (NBR ISO 14.040, 2009). Compreende as fases de definição do objetivo e escopo, inventário do ciclo de vida, avaliação do impacto e interpretação dos resultados.

A ACV contempla a identificação de todos os impactos causados por um produto, sendo de extrema complexidade, pois deve considerar todas as parcelas de interferência que sejam relevantes durante o seu ciclo de vida (SILVA, 2012).

Com o intuito de simplificar este tipo de estudo, tem-se a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que é uma avaliação direcionada a uma parcela importante do ciclo de vida, a Energia Embutida ou Energia Incorporada, que é a quantificação dos insumos energéticos necessários para se produzir determinado produto (SILVA, 2012).

Este artigo aborda a ACVE no contexto do produto edificações, que de acordo com o mesmo autor, tem a energia total proveniente de três parcelas. A primeira é a energia consumida para a extração de matéria prima, fabricação dos materiais e construção da edificação, denominada energia incorporada ou embutida. A segunda é a energia consumida durante a operação da edificação, ou seja, na iluminação, aquecimento de água, cocção e climatização, sendo esta a energia operacional. A terceira é a energia utilizada para a desconstrução da edificação e o transporte dos resíduos.

O objetivo geral é realizar um levantamento das publicações científicas em banco de dados brasileiros acerca do tema da Análise do Ciclo de Vida Energético, utilizando a metodologia de Revisão Sistemática. Como objetivos específicos citam-se identificar o objeto de estudo ao qual se aplica a ACVE e relacionar os valores de energia embutida com os materiais e sistemas construtivos abordados nos estudos.

2 MÉTODO

A metodologia apoia-se nos pressupostos teóricos de Revisão Sistemática. Consiste em um estudo secundário que reúne estudos semelhantes e os analisa criticamente em sua metodologia (CLARKE e OXMAN, 2000). As palavras-chave foram “ciclo de vida energético” e “construção” e a busca foi delimitada em um período de 10 anos (2005-2015). Os bancos de dados pesquisados foram Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Portal de Periódicos da CAPES/MEC, Biblioteca Sophia (UFPR) e Repositório digital LUME (UFRGS). Foram encontrados 422 trabalhos, dos quais três constavam em mais de um dos bancos anteriormente citados. Após leitura dos resumos foi realizada uma pré-seleção e, posteriormente, a leitura

completa permitiu a seleção dos trabalhos, com base no critério de pertinência ao tema. Ao final, foi elaborado um quadro, como forma de consolidação dos resultados encontrados.

3 RESULTADOS

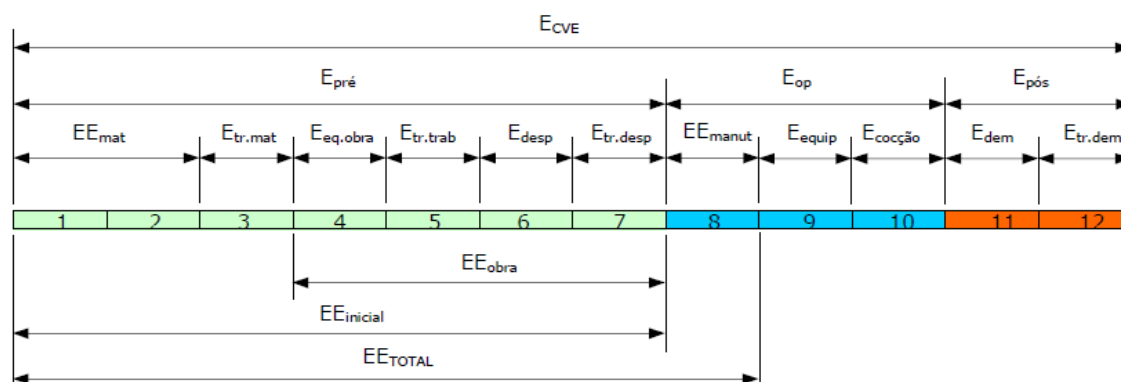
Com base nos critérios de seleção foi possível reunir oito trabalhos, sendo seis nacionais (TAVARES, 2006; MARCHESINI, 2013; OBA, 2014; SILVA, 2012; CARMINATTI JUNIOR, 2012; HERRERA, 2013) e dois uruguaios elaborados em parceria com a UFRGS (PELUFO, 2011; CASAÑAS, 2011). A seguir, extraem-se dos trabalhos os recortes aderentes aos objetivos deste artigo.

Tavares (UFSC, 2006) teve por objetivo identificar e quantificar os eventos significativos que influenciam no consumo energético ao longo da vida útil das residências brasileiras. A metodologia proposta para o cálculo de energia embutida foi o método de análise híbrido, considerando os métodos de análise de processo e análise estatística. Segundo o autor, a análise de processo detalha todas as etapas de um processo de fabricação, discriminando os eventos de consumos energéticos diretos e indiretos em cada etapa. Já a análise estatística é realizada a partir de estatísticas das fábricas, setores industriais e órgãos do governo sobre os consumos energéticos de produtos ou categorias.

A energia total do ciclo de vida de uma edificação E_{CVE} (MJ/m²), é dada pela Equação 1, onde E_{pre} é a energia pré-operacional (MJ), E_{op} é a energia operacional (MJ), E_{pos} é a energia pós-operacional (MJ) e A_{edif} é área da edificação. A Figura 1 ilustra o Ciclo de Vida das edificações

$$E_{CVE} = \frac{(E_{pre} + E_{op} + E_{pos})}{A_{edif}} \quad (1)$$

Figura 1: Fases e etapas do ciclo de vida energético das edificações.

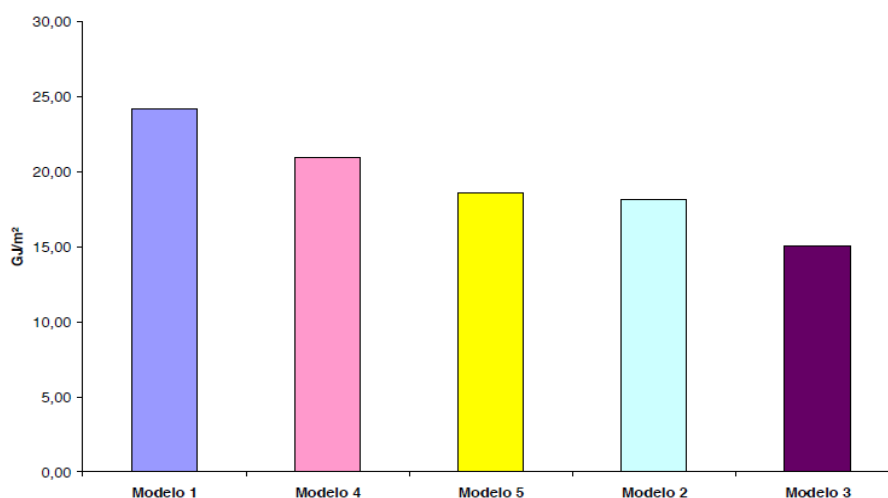


Fonte: Tavares (2006)

O equacionamento proposto por este método foi aplicado a cinco modelos, considerando o ciclo de vida da edificação de 50 anos. A energia total do ciclo de vida dos modelos variou de 15,01 a 24,17GJ/m² (Figura 2) e a

energia pré-operacional variou de 4,10 a 4,90GJ/m². Dessa forma, concluiu-se que a energia embutida dos materiais de construção corresponde de 29 a 49% do Ciclo de Vida de uma edificação. Foram especificados de 23 a 26 materiais por modelo e apenas dez reúnem 90% da energia embutida. Três destes materiais, a cerâmica vermelha, cimento e aço, ocupam as primeiras posições acumulando mais de 60% da energia embutida, com 5,40, 4,20 e 30,00MJ/kg, respectivamente. A tinta merece atenção especial, pois além de ser o quarto em energia inicial (tinta acrílica 61,00MJ/kg, tinta óleo 98,10MJ/kg e PVA 65,00MJ/kg) é o material que mais a acumula ao final do ciclo de vida, devido às manutenções.

Figura 2 – Energia no Ciclo de Vida dos cinco modelos.



Fonte: Tavares (2006)

Marchesini (2013) faz uma análise da influência do mobiliário em MDF no ciclo de vida energético de uma edificação comercial de 50,8m², do berço ao portão, ou seja, não considerou a energia para destinação final dos materiais após o descarte.

Para o cálculo da energia embutida, utilizou-se um método híbrido, envolvendo análise de processo e análise estatística, obtendo o valor da energia embutida do mobiliário de 38.541MJ ou 0,76GJ/m², composto por 0,02GJ/m² referente aos transportes, 0,01 GJ/m² na montagem dos módulos em MDF e 0,73 GJ/m² na fabricação dos materiais. Concluiu que 97,2% da energia embutida do mobiliário provém da extração da matéria prima e da fabricação dos materiais, sendo a energia embutida inicial da edificação de 7,36GJ/m², a recorrente de 2,67GJ/m², a operacional de 12GJ/m² e a energia total de 24,03GJ/m², para um ciclo de vida de 50 anos. A energia embutida do mobiliário em MDF corresponde a 8,3% da energia embutida da edificação e somando-se o valor das energias embutidas do mobiliário e não mobiliário se chega ao mesmo valor da energia operacional.

Oba (2014) analisa os valores de consumo energético da construção, manutenção, alterações e operação de equipamentos do Centro Politécnico da UFPR, e os relaciona por meio de simulações computacionais

com o desempenho termoenergético. Por tratar de um trabalho voltado para uma edificação com mais de 50 anos de uso, o objetivo foi identificar possíveis oportunidades de se conseguir eficiência energética e evitar soluções aleatórias em manutenções. O limite deste estudo foi determinado como sendo do berço ao portão, ou seja, foi contabilizada a energia embutida da edificação, na fase pré-operacional; a energia embutida recorrente, calculando as manutenções durante a fase operacional e a energia operacional estimada para 50 anos.

A autora concluiu que a construção é a etapa que mais consome energia, sendo 4.675.004MJ, seguido pela etapa de manutenção 686.587MJ e, por último, a etapa de substituição 147.173MJ. Além disso, foi possível perceber que a estrutura em concreto é que a mais contribui para o aumento da energia embutida inicial, sendo 2.582.536MJ. Mesmo não sofrendo nenhuma manutenção ou substituição durante 50 anos, essa estrutura representa 47% de toda energia embutida da construção.

Reforça que os valores de energia embutida inicial para as esquadrias (419.136MJ) e acabamentos (660.884MJ) somados, representam 60% da energia embutida total. As alterações físicas foram pouco significativas no consumo energético, sendo que os usos dos equipamentos elétricos foram os que mais consumiram durante os 50 anos.

Silva (2012), em dissertação desenvolvida na UFRGS, fez uma ACVE aplicada a sete tipologias de habitações de interesse social, sendo cinco unifamiliares e duas multifamiliares. A metodologia utilizada foi a mesma já proposta por Tavares (2006).

Na fase pré-operacional, os resultados variaram entre 83,20 até 154,03GJ. A fase operacional variou entre 860,30 e 1.053,98GJ. A fase pós-operacional variou entre 2,33 e 7,48GJ. Foi constatado que as edificações que utilizam métodos construtivos convencionais variaram sua energia pré-operacional entre 10,91 e 12,69% da energia total da edificação. Já uma das tipologias, que possui estrutura e fechamento em madeira tem a energia incorporada menor que a dos demais, sendo 8,71% do total da energia consumida durante o ciclo de vida.

O consumo durante a fase operacional variou de 86,80 a 91,04% e a fase pós-operacional de 0,24 a 0,65% de toda energia consumida durante a vida da edificação. Concluiu-se que cerca de 10% dos materiais são responsáveis por 90% de toda energia embutida na fase pré-operacional, sendo eles: cimento Portland, blocos cerâmicos e de concreto, telhas cerâmicas e de fibrocimento, as tintas e texturas, o aço, a areia, as pedras britadas e cerâmicas de revestimento.

Outro estudo que também aplica os conceitos de ACVE para projetos de habitação de interesse social é o de Carminatti Junior (2012), com o objetivo de quantificar a energia embutida de um projeto de HIS utilizando Light Steel Framing (LSF) como sistema construtivo. Os resultados foram comparados com outras duas tipologias, uma em alvenaria estrutural de blocos de concreto e, outra, em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.

Analysaram-se as etapas de fabricação dos materiais e transporte destes até o canteiro de obras. A alvenaria estrutural em blocos cerâmicos foi a que apresentou menor valor em relação às outras tipologias, sendo 3,0GJ/m². O LSF apresentou valor de 3,9GJ/m² e a alvenaria estrutural em blocos de concreto de 6,6 GJ/m², devido à alta energia embutida do material concreto. Contudo, ao considerar apenas os subsistemas de estrutura e fechamentos verticais internos e externos, o LSF apresentou o menor valor de energia embutida (36,9GJ). Isto é justificado pelo fato do LSF demandar fundação em radier, enquanto que os demais sistemas exigem sapata corrida, aumentando o consumo de concreto.

Herrera (2013) fez uma análise do consumo energético de uma moradia social, por meio do cálculo da energia incorporada dos materiais construtivos utilizados no projeto e o consumo energético provocado pelo comportamento dos materiais da envoltória quando alterados.

Utilizou um modelo de moradia de 43,95m², sendo o que apresentou o maior valor de energia incorporada inicial foi o bloco cerâmico e telha cerâmica com 122,22GJ. Já o de menor energia incorporada inicial foi o bloco cerâmico e telha de fibrocimento com 108,91GJ. No quesito consumo energético durante 40 anos, a tipologia que apresentou maior consumo foi bloco cerâmico e telha cerâmica com 227,58GJ. Já a tipologia de menor consumo foi bloco de concreto e telha de fibrocimento, com 186,57GJ.

Peluso (2011) realizou uma ACVE de um edifício no Uruguai, pelo método de análise de processo. Foram levantadas as energias incorporada e operacional e elaboradas propostas construtivas alternativas para a estrutura de concreto e para a alvenaria de tijolos.

Com base em dados secundários de energia embutida foram calculados os valores de energia incorporada total dos materiais, sendo 16.758,06GJ. Se considerar a área coberta total, o valor é de 6,012GJ/m² e se considerada a área construída o valor aumenta para 8,66GJ/m².

A energia embutida recorrente das manutenções em 60 anos foi de 3418,31GJ, representando 20,72% da energia embutida inicial. Já a energia despendida para a demolição e transporte dos detritos foi 331,22GJ. A energia operacional anual do edifício foi 874,31GJ/ano.

Para as propostas construtivas alternativas, primeiramente foi analisada a mudança do projeto da estrutura. A energia embutida para as lajes e vigas da solução alternativa foi 10,72% menor que a solução original. Quando adicionado 20% de CBC (Cinza do bagaço da cana) ao cimento Portland ocorreu redução da energia embutida de 194,8GJ, o que equivale a 1,50% da energia embutida total.

Posteriormente, foram analisadas alternativas de substituição da alvenaria interna de tijolo maciço. Nas paredes divisórias entre as unidades, de 20 cm de espessura, aplicou-se tijolo furado e a energia embutida foi de 1045,3MJ/m², enquanto que a solução original foi de 959,8MJ/m². Quando

aplicado duas placas de gesso de 75mm com perfis estruturais de aço galvanizado e isolamento em lã de vidro, obteve-se 1011,5721 MJ/m².

Ao se utilizar tijolo furado, para as paredes internas de 15 cm, a energia embutida foi de 364,92MJ/m², enquanto que a solução original foi de 618,6MJ/m². Aplicando-se duas placas de 40mm, perfil metálico e lã de vidro, a energia embutida foi de 473,9721MJ/m² e com uma placa de 60 mm, perfil metálico e poliestireno expandido, o valor de energia embutida foi de 433,5921MJ/m². Desta forma, esta alternativa não acarreta em uma diminuição na energia embutida nas divisórias entre as unidades. Contudo, o valor calculado para a energia embutida total com essa solução é de 2.719,57GJ, reduzindo o valor com a proposta original em 7,31%. Desta forma, concluiu-se que a alteração da alvenaria mostrou-se significativa.

A tese de Casañas (2011) teve como objetivo identificar a melhor opção construtiva para habitações, levando em consideração dados de consumo energético dos materiais produzidos por duas empresas uruguaias (LMP e LGP). Foi estimada a energia incorporada do tijolo, aço e cimento e analisada a unidade funcional de 1m² de área de parede. O valor médio da energia embutida do tijolo das duas empresas foi de 2,77MJ/kg. O valor de energia incorporada para o aço e cimento foi de 14,58J/kg e 4,85MJ/kg, respectivamente.

Utilizaram-se três sistemas construtivos representativos das construções uruguaias: 1) parede dupla de tijolo com câmara de ar e uma camada impermeável, com espessura de 29cm; 2) parede dupla de tijolo sem câmara de ar, com uma camada impermeável, espessura de 19cm; e 3) parede de concreto armado, com espessura de 25cm.

O primeiro sistema apresenta o conteúdo energético mais elevado, com 1.222MJ/m² de parede, devido principalmente à estrutura e à quantidade de cerâmicas utilizadas, representando 79% do valor. Este sistema tem como vantagem uma menor transmitância térmica, sendo $U=1,35W/(m^2K)$.

O segundo sistema apresenta valor médio de conteúdo energético, sendo 819MJ/m² de parede, com as mesmas características que o sistema anterior. A transmitância térmica é 2,21W/(m²K).

O último sistema construtivo contém o menor valor energético, de 758 MJ/m² de parede e a pior transmitância térmica 2,82W/(m²k).

Já para a unidade funcional de uma habitação de 52m², os sistemas apresentaram energia embutida de 1.127,2MJ/m², 823,5MJ/m² e 533,5MJ/m², respectivamente. Concluiu-se que as paredes de tijolos cerâmicos são as que menos impactam, já que o consumo de energia provém de fontes renováveis e as emissões são menores que as do aço e cimento, para os quais ainda se tem o impacto do transporte que aumenta a energia incorporada.

A partir da revisão sistemática realizada, apresenta-se uma consolidação no Quadro 1, no qual se destaca de cada trabalho selecionado o autor, o tipo de edificação objeto de estudo e os valores de energia incorporada.

Quadro 1 – Trabalhos selecionados segundo ano de publicação, banco de dados, objeto de estudo e highlights

AUTOR (ANO) BANCO DE DADOS	OBJETO DE ESTUDO	RESULTADOS
TÍTULO: Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de edificações residenciais brasileiras.		
Tavares (2006) IBICT	- Edificação unifamiliar Modelo 1: 63 m ² ; 140kWh/mês Modelo 4: 45 m ² ; 420kWh/mês Modelo 5: 252 m ² ; 650kWh/mês - Edificação unifamiliar Modelo 2: 70 m ² ; 160kWh/mês Modelo 3: 00 m ² ; 240kWh/mês	Modelo 1: 24,17 GJ/m ² Modelo 2: 18,12 GJ/m ² Modelo 3: 15,01 GJ/m ² Modelo 4: 20,90 GJ/m ² Modelo 5: 18,55 GJ/m ²
TÍTULO: O projeto de readequação visando à construção mais sustentável no edifício moderno: estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR.		
Marchesini (2013) UFPR	Análise da influência do mobiliário em MDF no ciclo de vida energético de edificação comercial de 50,8m ² .	Mobiliário: 101,36GJ ou 2,0GJ/m ² Edifício: 24,03GJ/m ² .
TÍTULO: O projeto de readequação visando à construção mais sustentável no edifício moderno: estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR.		
Oba (2014) UFPR	Centro Politécnico da UFPR - bloco didático do curso de Arquitetura e Urbanismo	Construção: 4.675,004MJ Manutenção: 686.587MJ Substituição: 147.173MJ
TÍTULO: Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social.		
Silva (2012) PERIÓDICO CAPES; CAPES; IBICT	Tipo 1: 40,65 m ² Tipo 2: 46,14 m ² Tipo 3: 31,60 m ² Tipo 4: 38,60 m ² Tipo 5: 45,70 m ² Tipo 6: 41,8 m ² Tipo 7: 30,00 m ²	Tipo 1: 29,24GJ/m ² Tipo 2: 25,91GJ/m ² Tipo 3: 30,85GJ/m ² Tipo 4: 29,72GJ/m ² Tipo 5: 26,57GJ/m ² Tipo 6: 28,42GJ/m ² Tipo 7: 31,83GJ/m ²
TÍTULO: Análise do ciclo de vida energético de projeto de Habitação de Interesse Social concebido em Light Steel Framing.		
Carminatti Junior (2012) IBICT	Projeto de Habitação de Interesse Social de Light Steel Framing (LSF), comparando sistemas construtivos diferentes: bloco cerâmico e alvenaria estrutural de blocos de concreto.	Bloco cerâmico: 3,0GJ/m ² Light Steel Framing: 3,9GJ/m ² Alvenaria estrutural: 6,6GJ/m ²
TÍTULO: Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia.		
Herrera (2013) IBICT	- HIS com 43,95m ² Bloco de concreto e telha cerâmica Bloco de concreto e telha de fibrocimento Bloco cerâmico e telha de fibrocimento Bloco cerâmico e telha cerâmica	Bloco concreto e telha cerâmica: 5,15GJ/m ² Bloco concreto e telha de fibrocimento: 4,25GJ/m ² Bloco cerâmico e telha de fibrocimento: 4,28GJ/m ² Bloco cerâmico e telha cerâmica: 5,18GJ/m ²

Continuação Quadro 1 – Trabalhos selecionados segundo ano de publicação, banco de dados, objeto de estudo e highlights

AUTOR (ANO) BANCO DE DADOS	OBJETO DE ESTUDO	RESULTADOS
TÍTULO: Análisis de la energía incorporada de un edificio en altura en Uruguay.		
Peluffo (2011) IBICT	Edifício alto no Uruguai com estrutura em concreto e alvenaria de tijolo maciço, comparando com propostas construtivas alternativas: - mudança no projeto da estrutura - mudança do tipo de concreto (com 20% de CBC) - tijolo cerâmico furado (1) - placa de gesso com perfis estruturais de aço galvanizado e isolamento em lã de vidro (2) - poliestireno expandido (3)	- Lajes e vigas Original: 2.544,328GJ Alternativa: 2.271,569GJ - Concreto Tradicional (original): 1.823,046GJ Com CBC (alternativa): 1.628,257 GJ - Paredes internas 20cm Original: 959,8MJ/m ² Alternativa 1: 1045,3MJ/m ² Alternativa 2: 1011,5721 MJ/m ² - Paredes internas 15cm Original: 618,6MJ/m ² Alternativa1: 364,92 J/m ² Alternativa 2: 473,9721MJ/m ² Alternativa 3: 433,5921MJ/m ²
TÍTULO: La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional.		
Casañas (2011) PERIÓDICO CAPES	Habitações isoladas do "Proyecto Cuenca Carrasco" com 52m ²	Parede dupla de tijolo com câmara de ar: 1.127,2MJ/m ² Parede dupla de tijolo sem câmara de ar: 823,5MJ/m ² Parede de concreto armado: 533,5MJ/m ²

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

A partir da pesquisa realizada, constatou-se que existe uma produção qualitativa a respeito do assunto, contudo limitada ainda pela indisponibilidade de dados adaptados à produção da indústria brasileira.

Os resultados obtidos, por sua vez, evidenciam a etapa do ciclo de vida em que se concentra a maior quantidade de energia, o que permite a adoção de medidas para diminuir os impactos. Cada trabalho apresentou um resultado que possibilitou a tomada de decisões com o intuito de chegar a um patamar de sustentabilidade desejado.

Os objetos de estudo foram em sua maioria residências unifamiliares e multifamiliares, abordando habitação de interesse social, edifício de múltiplos pavimentos e o mobiliário no contexto de um edifício comercial.

A metodologia dos trabalhos foi predominantemente baseada em Tavares (2006) e apenas Casanãs realizou as medições energéticas dos materiais *in loco*.

Foi constatado que 90% da energia embutida está concentrada em 10% dos materiais, sendo eles cimento Portland, blocos cerâmicos e de concreto,

telhas cerâmicas e de fibrocimento, as tintas e texturas, o aço, a areia, as pedras britadas e cerâmicas de revestimento.

Os materiais empregados em maior quantidade nos objetos de estudo de Tavares (2006) foram cerâmica vermelha, cimento e aço com energia embutida de 5,40, 4,20 e 30,00 MJ/kg, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

CASAÑAS, V. **La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CLARKE, M.; OXMAN, A. D. (Ed.). **Cochrane Reviewers' Handbook 4.1**. In: Review Manager. Version 4.1. Oxford: The Cochrane Collaboration, 2000.

HERRERA, J. A. Q. **Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

JUNIOR, R. C. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

MARCHESINI, I. A. **Análise da influência do mobiliário em MDF no ciclo de vida energético da edificação: um estudo sobre a energia embutida no mobiliário de escritórios comerciais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

OBA, M. M. **O projeto de readequação visando à construção mais sustentável no edifício moderno: Estudo de caso sobre o centro politécnico da UFPR**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PELUFO, P. **Análisis de la energía incorporada de un edificio en altura en Uruguay**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, L. P. **Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residências brasileiras**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.