

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA HABITAÇÃO POR MEIO DE TRÊS MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Cynara Fiedler Bremer

Professora Doutora da Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo (TAU). E-mail: cynarafiedlerbremer@ufmg.br

Mariana Tonini de Araujo

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFRGS). Mestre em Estruturas e Construção pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail: marianatonini93@gmail.com

RESUMO: Durante todas as fases do seu ciclo de vida as edificações impactam o meio ambiente; entretanto, é na fase de projeto onde é possível uma maior redução de futuros impactos, visto que é possível optar por materiais e métodos construtivos menos poluentes. Uma análise de impactos ambientais simplificada, mas significativa, é a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que prioriza o inventário de dados de consumos energéticos diretos e indiretos. Por possuir uma estrutura mais simples do que uma avaliação do ciclo de vida (ACV), uma ACVE demanda custo e tempo de execução menores e possibilita a avaliação de impactos importantes ao meio ambiente, como a emissão de gases estufa. Para exemplificar a aplicação do método ACVE foi analisado um estudo de caso de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para o mesmo projeto: estrutura de concreto com uso de

alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing* (LSF). Esses sistemas, por apresentarem diferentes materiais para a construção da habitação possibilitaram análises distintas em termos de consumo energético e de uma consequente contribuição para um menor consumo de energia ao longo do Ciclo de Vida da habitação. Em comparação à estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, a maior diferença foi observada no LSF, cujo consumo do ciclo de vida foi aproximadamente 1,1 GJ/m² menor que os demais. A partir da ACVE concluiu-se que o sistema LSF para a habitação escolhida apresentou menor impacto relacionado ao gasto energético, além da rapidez do método e sua construção a seco, o que demonstra também a importância de se pensar em novas tipologias construtivas e em se abrir mais espaço para métodos até agora de pouco uso.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação do ciclo de vida energético; energia embutida; materiais de construção.

ANALYSIS OF THE ENERGY LIFE CYCLE OF A DWELLING USING THREE CONSTRUCTIVE METHODS

ABSTRACT: During all phases of their life cycle, buildings impact the environment; however, it is in the design phase where a greater reduction in future impacts is possible, since it is possible to choose materials and construction methods less polluting. A simplified, but significant, analysis of environmental impacts is the life cycle energy analysis (LCEA), which prioritizes the inventory of direct and indirect energy consumption data. Because it has a simpler structure than an LCA, an LCEA requires less cost and time of execution and allows the evaluation of important impacts to the environment, such as the emission of

greenhouse gases. To exemplify the application of the LCEA method, a case study of a dwelling was analyzed considering three types of construction for the same project: concrete structure using conventional masonry, structural masonry and Light Steel Framing (LSF). These systems, because they present different materials for the construction of the house, allowed different analyzes in terms of energy consumption and a consequent contribution to a lower consumption of energy throughout the Life Cycle of the house. In comparison to the concrete structure using conventional masonry, the biggest difference was observed in LSF, whose life cycle consumption was approximately 1.1 GJ/m² lower than the others. From the LCEA it was concluded that the LSF system for the chosen housing had less impact related to energy expenditure, in addition to the speed of the method and its dry construction, which also demonstrates the importance of thinking about new construction types and whether make more room for methods so far of little use.

KEYWORDS: assessment of the energy life cycle; built-in energy; construction materials

1 | CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

O conceito de sustentabilidade vem desenvolvendo-se em decorrência de uma preocupação cada vez maior com o uso dos recursos naturais e a poluição do meio ambiente. Nesse contexto, uma maior consciência ambiental na construção civil é necessária, visto que, no Brasil, a atividade gera cerca de 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos e consome aproximadamente 40% dos recursos naturais e energia produzida, 34% do consumo de água e 55% do consumo de madeira não certificada (SILVA, 2012). Ademais, nota-se a urgente necessidade dos projetistas brasileiros especificarem materiais que atendam aos requisitos e critérios de desempenho necessários, mas que também levem em consideração aspectos energéticos (CALDAS, 2016).

Durante todas as fases do seu ciclo de vida as edificações impactam o meio ambiente, entretanto, é na fase de projeto onde é possível uma maior redução de futuros impactos, visto que é possível optar por materiais e métodos construtivos menos poluentes. Uma das formas de quantificação dos impactos advindos da construção civil é por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em uma ferramenta que possibilita uma análise sistêmica dos impactos, identificando e medindo fluxos de insumos e emissões em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010 *apud* MADEIRA, 2019). Segundo Araújo (2005), a ACV, uma ferramenta de identificação das necessidades e do estado de uma obra com pretensões de sustentabilidade, é utilizada para se mensurar o impacto ambiental causado por um processo, produto ou sistema. Ressalta-se que uma ACV de edificações requer algumas alterações, visto que essas possuem uma vida útil extensa, medida em décadas, anos ou séculos, enquanto o ciclo de vida de produtos industriais envolve em geral um curto espaço de tempo (RESENDE, 2011). A ACV estuda interferências e aspectos relacionados ao meio ambiente do berço ao túmulo do produto, e seu *“princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado”* (RESENDE, 2011 p. 55). Em cada fase do ciclo de vida levantam-se a emissão de poluentes e a quantidade de materiais e energia utilizados, sendo posteriormente esses quantitativos multiplicados por fatores que caracterizam seu impacto ambiental (GLAUMANN *et al.*, 2010). Entretanto,

segundo Silva (2012), a grande quantidade de dados necessários bem como os cálculos extensivos fundamentais para a realização de uma ACV são aspectos negativos do sistema, tornando-o complexo.

Segundo Tavares (2006), uma análise de impactos ambientais simplificada, mas significativa, é a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que prioriza o inventário de dados de consumos energéticos diretos e indiretos. Ainda segundo o autor, por possuir uma estrutura mais simples do que uma ACV, uma ACVE demanda menos custo e tempo de execução e possibilita a avaliação de impactos importantes ao meio ambiente, como a emissão de gases estufa. Ressalta-se que uma ACVE não visa a substituição de uma análise mais completa, mas facilitar a tomada de decisão acerca da eficiência energética e impactos associados, como a geração de CO₂. A construção de uma ACVE pode ser dividida em três fases: Fase Pré-Operacional, Fase Operacional e Fase Pós-Operacional. A Fase Pré-operacional relaciona-se à energia utilizada na fabricação e transporte de materiais, equipamentos utilizados na obra e transporte dos trabalhadores, além do desperdício de materiais e seu transporte. A Fase Operacional engloba a utilização de energia por aparelhos eletrodomésticos, para a preparação de alimentos (cocção) e para a reposição de materiais (reformas), e a Fase Pós-Operacional consiste na energia gasta para demolição, remoção e transporte dos resíduos gerados no fim do ciclo de vida da edificação (TAVARES, 2006). A Figura 1 sintetiza as etapas do Ciclo de Vida Energético de uma edificação.

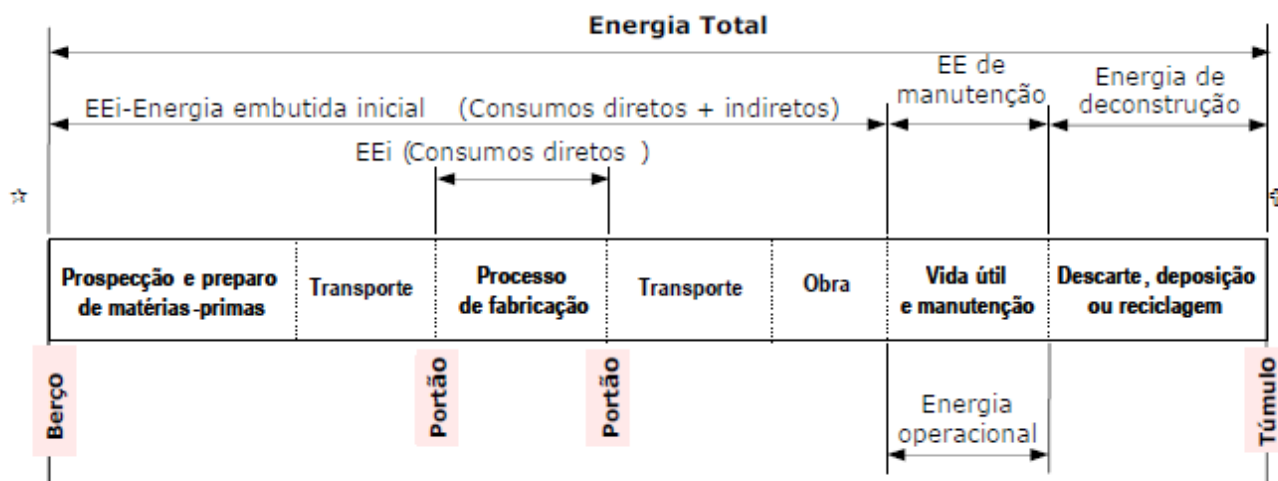


Figura 1 - Ciclo de vida energético de uma edificação

Fonte: TAVARES (2006).

Em uma abordagem berço ao túmulo, segundo a norma ISO 14040, o conjunto dos requisitos energéticos é chamado *Energia Total*. Já a *Energia Embutida Inicial* é constituída pelos insumos energéticos diretos e indiretos utilizados para se erguer a edificação, sendo os consumos diretos aqueles realizados nos limites da fábrica para a produção dos materiais construtivos e indiretos aqueles gastos na extração, transporte e beneficiamento da matéria-prima além do transporte do material pronto para a obra e da energia gasta na

construção da edificação. A *Energia Operacional* contempla os consumos de eletricidade e energia de cocção (para o preparo de alimentos) ao longo da vida útil da edificação, na *Energia de Manutenção* são considerados os insumos energéticos gastos em reformas e manutenções e, por fim, a *Energia de Desconstrução* é aquela consumida ao final do ciclo por descarte, demolição ou reciclagem. Caso novas edificações utilizem-se de materiais reciclados, o débito de energia embutida contida neles pode ser contabilizado. Em relação aos parâmetros descritos, em uma ACVE de edificações, usualmente as unidades utilizadas são GJ/domicílio ou GJ/m² (TAVARES, 2006).

2 | APLICAÇÃO DO MÉTODO ACVE EM UM PROJETO

Para exemplificar a aplicação do método ACVE aqui será analisado um estudo de caso de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para o mesmo projeto: estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing* (LSF). Esses sistemas, por apresentarem diferentes materiais para a construção da habitação irão possibilitar análises distintas em termos de consumo energético e de uma conseqüente contribuição para um menor consumo de energia ao longo do Ciclo de Vida da habitação. Por fim, a partir da análise de materiais utilizados na Fase Pré-Operacional do ciclo serão enfatizados os que possuem menor ou maior energia embutida e que contribuem para que a edificação tenha menor ou maior impacto ambiental, de acordo com o consumo energético, respectivamente.

A habitação utilizada nesse trabalho, retirada da monografia de Klein e Maronezi (2013), é uma habitação padrão da Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR), de número CF 40 G1. Esse modelo era utilizado na prática por várias construtoras do Paraná para construção de conjuntos habitacionais. No entanto, nos dias atuais esta casa não é mais utilizada, visto que não se adequa às mudanças ocorridas em 2014 nas normas ABNT NBR 6118 - Projetos de Estruturas de Concreto e ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Porém, como o objetivo deste trabalho é uma ACVE a partir de quantitativos existentes de três métodos construtivos distintos para um mesmo projeto, a inadequação atual da casa padrão não interfere com as análises pretendidas. A planta baixa base é composta por dois quartos, um banheiro, uma cozinha, uma sala de estar e uma lavanderia localizada na parte externa da residência. São 40,80m² de área construída e 36,99m² de área útil nos parâmetros construtivos de alvenaria convencional, Figura 2. Os cortes encontram-se na Figura 3.

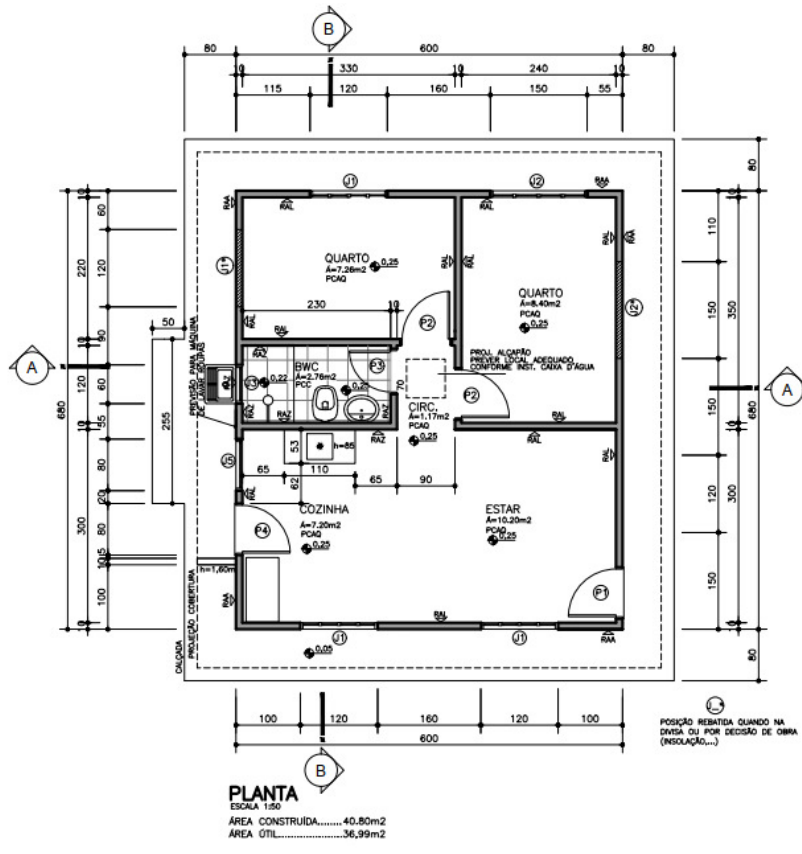


Figura 2 - Planta baixa, projeto em estudo, CF 40 G1.
 Fonte: Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR)

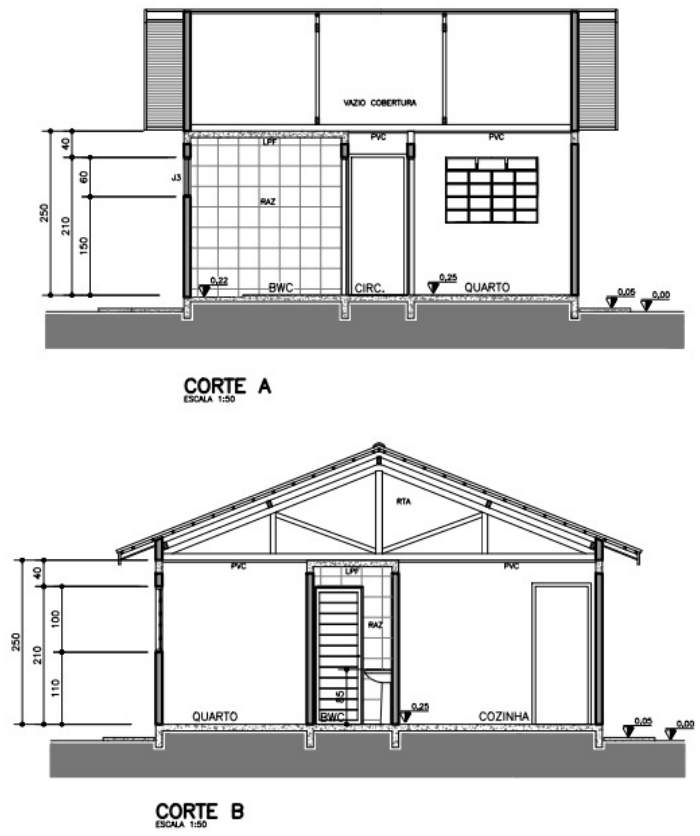


Figura 3 - Cortes, projeto em estudo, CF 40 G1.
 Fonte: Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR)

2.1 Cálculo dos consumos energéticos para uma ACVE

A energia total do ciclo de vida de uma edificação em MJ/m² pode ser definida pela Equação 1:

$$E_{cve} = \frac{E_{pre} + E_{op} + E_{pos}}{A_{edif}} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

$$E_{pre} = EE_{mat} + E_{tr.mat} + E_{obra} + E_{tr.trab} + E_{desp} + E_{tr.desp} \quad \text{Eq. 1.1}$$

$$E_{op} = E_{equip} + E_{cocção} + EE_{rep} + E_{desp.rep} + E_{tr.rep} \quad \text{Eq. 1.2}$$

$$E_{pos} = E_{dem} + E_{tr.dem} \quad \text{Eq. 1.3}$$

A_{edif} = Área da edificação.

2.1.1 Fase Pré-Operacional

A Fase Pré-Operacional compreende as etapas 1 a 7, calculadas pelas Equações 2 a 7.

$$\text{Etapas 1 e 2} - EE_{mat} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot CE_{mat_i} \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

CE_{mat_i} = conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$\text{Etapas 3} - EE_{tr\ mat} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i \cdot CE_{tr} \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

l_i = distância do fabricante de material ao sítio da obra (km);

CE_{tr} = conteúdo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

$$\text{Etapas 4} - E_{obra} = \sum_{j=1}^p E_j \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

p = número de formas de consumo energético;

j = formas de consumo energético;

E_j = quantidade de energia consumida nas atividades da obra (MJ).

$$Etapa 5 - E_{tr.trab} = t \cdot n_d \cdot 2l_m \cdot CE_{tr} \quad Eq.5$$

Onde:

t = quantidade de trabalhadores x peso unitário 70 kg;

n_d = número de dias úteis da obra;

l_m = distância média percorrida pelos trabalhadores até a obra (km);

CE_{tr} = consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

$$Etapa 6 - E_{desp} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i \cdot CE_{mat_i} \quad Eq.6$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

d_i = fator de desperdício do material;

CE_{mat_i} = Conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$Etapa 7 - E_{tr.desp} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i \cdot l_d \cdot CE_{tr} \quad Eq.7$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

d_i = fator de desperdício do material;

l_d = distância do sítio da obra ao depósito de material desperdiçado;

CE_{tr} = Consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

2.1.2 Fase Operacional

10. A Fase Operacional compreende as etapas 8 a 10, calculadas pelas equações 8 a

$$Etapa 8 - EE_{rep} = \sum_{i=1}^n E_{pre_i} \cdot m_i \cdot rep_i \cdot CE_{mat_i} \quad Eq.8$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

E_{pre_i} = energia pré-operacional do material de construção discriminado;

rep_i = fator de reposição do material ao longo da vida útil da edificação;

CE_{mat_i} = conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$Etapa 9 - EE_{equip} = \frac{h+a+r}{3} \quad Eq.9$$

Onde:

h = fator do consumo relativo ao número de habitantes da edificação;

a = fator do consumo relativo à área da edificação;

r = fator do consumo relativo ao rendimento do grupo de habitantes.

$$\text{Etapa 10} - EE_{\text{cocção}} = E_{\text{equip}} \cdot c \quad \text{Eq.10}$$

Onde:

E_{equip} = energia consumida por equipamentos;

c = fator de consumo de Energia de cocção relativo ao consumo de energia elétrica.

2.1.3 Fase Pós-operacional

A Fase Pós-Operacional compreende as etapas 11 e 12, calculadas pelas equações 11 e 12.

$$\text{Etapa 11} - E_{\text{dem}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot CE_{\text{dem}} \cdot R_{\text{med}} \quad \text{Eq.11}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

CE_{dem} = consumo energético dos equipamentos de demolição;

R_{med} = fator de reposição de materiais médio ao longo do ciclo de vida.

$$\text{Etapa 12} - E_{\text{tr.dem}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_d \cdot CE_{\text{tr}} \cdot R_{\text{med}} \quad \text{Eq.12}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m_i = quantidade de material de construção (kg);

l_d = distância do sítio da obra ao depósito de material demolido;

CE_{tr} = consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km);

R_{med} = fator de reposição de materiais médio ao longo do ciclo de vida.

2.2 Resultados por fases e etapas principais do Ciclo de Vida

A Tabela 1 representa o consumo energético detalhado para cada etapa do ciclo de vida de 50 anos da habitação, considerando os métodos construtivos com o uso de estrutura de concreto e alvenaria convencional, alvenaria estrutural e LSF. Já a Tabela 2 mostra os consumos totais por fases, em GJ/m², para cada método.

Fase	Etapas	Sigla	Descrição	Consumo de energia (GJ/m ²) Estr. Conc+ Alv. Conv.	Consumo de energia (GJ/m ²) Alv. estrut.	Consumo de energia (GJ/m ²) LSF
Pré-Operacional	1	EE _{mat}	Prospecção, fabricação e transporte de insumos	3,95	3,87	4,93
	2		Fabricação dos materiais de construção			
	3	EE _{tr.mat}	Transporte dos materiais de construção	0,20	0,20	0,09
	4	EE _{eq.obra}	Energia consumida por equipamentos na obra	0,002	0,001	0,002
	5	EE _{tr.obra}	Transporte dos trabalhadores até a obra*	0,22	0,22	0,12
	6	EE _{desp}	Desperdício de materiais	0,44	0,43	0,29
	7	EE _{tr.desp}	Transporte do desperdício	0,16	0,12	0,06
Operacional	8	EE _{manut}	Reposição de materiais	4,04	3,88	2,99
	9	E _{equip.}	Energia consumida por equipamentos eletrodomésticos	7,29	7,06	7,11
	10	E _{cocção}	Energia para cocção de alimentos	10,94	10,59	10,66
Pós-Op.	11	E _{dem}	Demolição e remoção de resíduos	0,07	0,07	0,03
	12	E _{tr.dem}	Transporte do material demolido	0,26	0,26	0,12
		E _{CVE}	TOTAL DO CICLO DE VIDA	27,35	26,47	26,29

* Contabilizado a parte

Tabela 1 - Discriminação das fases e etapas com respectivos consumos no ciclo de vida energético

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Fase	Total (GJ/m ²) Alv. Conv.	Total (GJ/m ²) Alv. estrut.	Total (GJ/m ²) LSF
Pré-Operacional	4,75	4,62	5,38
Operacional	22,27	21,52	20,76
Pós-Operacional	0,33	0,33	0,15

Tabela 2 - Resultados por fases do ciclo de vida

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Em uma análise preliminar dos dados acima percebe-se uma predominância do consumo na fase operacional, em destaque à energia de cocção, para os três métodos. Foram encontrados valores muito próximos para a estrutura de concreto usando alvenaria convencional e para a alvenaria estrutural, tanto no que se refere ao gasto total de cada

fase quanto para as respectivas etapas.

Em relação à estrutura LSF, a fase pré-operacional, correspondente à Energia Embutida Inicial, teve maior consumo em relação aos outros dois sistemas. Isso ocorre devido à utilização por parte do sistema LSF de grandes quantidades de aço, material com alto valor de energia embutida, na fase pré-operacional, o que gera um consequente aumento da EE_{mat} para esse método. Da mesma forma, a fase pós-operacional para o LSF teve um menor gasto energético comparativo, visto que esse sistema se utiliza de uma menor quantidade em kg de materiais.

Observa-se que em todos os sistemas construtivos a Energia Embutida Inicial supera a Energia Operacional de equipamentos, denotando a importância do consumo energético em materiais de construção e todos os seus processos.

2.3 Consumo energético por partes da edificação

As Tabelas 3, 4 e 5 a demonstram a energia por partes da habitação, para cada sistema construtivo.

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - ESTRUTURA DE CONCRETO COM USO DE ALVENARIA CONVENCIONAL								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	EEquip	Total EE CVE
Serv. Preliminares	72,56	13,60	9,86	4,07	100,09	0	0	200,19
Estrutura	33799,51	2227,32	6231,36	1434,01	43692,20	0,00	15,78	87400,17
Esquadrias	75417,27	184,12	236,37	28,99	75866,75	75866,75	0	227600,26
Coberturas e proteções	12010,33	218,82	1211,64	49,27	13490,05	13490,05	0	40470,16
Revestimentos, forros e pinturas	23318,19	3528,81	5249,55	3375,88	35472,43	58775,18	1,68	129721,72
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,88	0	26548,09
Instalações e aparelhos	10927,39	50,80	2612,76	14,56	13605,50	12783,10	0	39994,11
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	49,67	149,01
Total MJ	161240,64	8080,68	17777,76	6524,23	193623,31	164769,97	67,13	552083,71
Total GJ/m²	3,95	0,20	0,44	0,16	4,75	4,04	0,002	13,53

Tabela 3 - Energia por partes da habitação, para estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - ALVENARIA ESTRUTURAL								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	E Equip.	Total EE CVE
Serv. Preliminares	73,51	13,74	9,98	4,11	101,33	0	0	202,66
Estrutura	39763,56	4909,68	7597,20	2348,84	54619,28	0	5,10	109243,67
Esquadrias	75383,92	183,09	223,11	28,17	75818,28	75818,28	0,00	227454,85
Coberturas e proteções	12010,33	218,82	1211,64	49,27	13490,05	13490,05	0,00	40470,16
Revestimentos, forros e pinturas	20634,55	1297,11	4092,45	1155,61	27179,73	58775,18	1,68	113136,31
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,884	0	26548,09
Instalações e aparelhos	11691,50	52,04	2918,40	15,55	14677,50	13855,09	0,00	43210,09
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	49,67	3319,00
Total MJ	165252,77	8583,01	18279,01	5260,07	197282,45	165793,50	56,45	566754,84
Total GJ/m²	3,87	0,20	0,43	0,12	4,62	3,88	0,001	13,26

Tabela 4 - Energia por partes da habitação, uso de alvenaria estrutural

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - LSF								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	E Equip.	Total EE CVE
Serv. Preliminares	73,75	13,83	10,02	4,14	101,74	0	0	203,47
Estrutura	70832,53	1436,43	4677,52	854,81	77801,29	435,65873	90,71	156128,95
Esquadrias	75383,92	183,09	223,11	28,17	75818,28	75818,28	0	227454,85
Coberturas e proteções	33531,55	258,08	1158,69	32,60	34980,92	12940,23	0	82902,07
Revestimentos, forros e pinturas	11641,27	71,59	1272,66	23,20	13008,71	22161,85	0,00	48179,28
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,88	0	26548,09
Instalações e aparelhos	11418,26	51,60	2809,10	15,20	14294,16	11079,90	0	39668,22
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	0,00	99,34
Total MJ	208576,68	3871,81	12377,33	2575,56	227401,39	126290,81	90,71	581184,29
Total GJ/m²	4,93	0,09	0,29	0,06	5,38	2,99	0,002	13,74

Tabela 5 - Energia por partes da habitação, uso de LSF

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

A predominância da EE de Materiais de Construção pode ser observada nos três métodos, destacam-se o sistema LSF, com valor total de 1 GJ/m² superior às Alvenarias.

Esse acréscimo deve-se à utilização da estrutura LSF nas partes estruturais, de coberturas e proteções da habitação. Esta estrutura, além de apresentar grandes consumos de aço, material com alto teor de Energia Embutida/kg, faz uso de placas cimentícias e de gesso acartonado, que apesar de não apresentarem alto valor de Energia Embutida/kg são utilizados em grandes quantidades, consumindo um significativo valor energético total.

Também nota-se que nos três métodos as partes da habitação com maior quantidade de Energia Embutida são os referentes à estrutura e às esquadrias. Em relação à parte estrutural, a grande quantidade de blocos cerâmicos e de concreto utilizados na estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional e na alvenaria estrutural, respectivamente, resulta em grande gasto energético, bem como a estrutura metálica do LSF contribui para um gasto energético elevado na parte estrutural da habitação. Já para as esquadrias, nos três sistemas têm-se um consumo elevado devido ao alto uso de alumínio nas mesmas, material esse que apresenta um dos maiores valores de Energia Embutida/kg (98,2 MJ/kg).

2.4 Consumo de energia por materiais de construção

A Tabela 6 mostra a distribuição energética, para cada método, dos principais materiais utilizados na habitação.

	Estrutura de concreto + alvenaria convencional			Alvenaria estrutural			LSF		
	Materiais	Total EE (MJ)	%	Materiais	Total EE (MJ)	%	Materiais	Total EE (MJ)	%
1	Alumínio	62.124,89	32%	Alumínio	62.124,89	31%	Aço	65.447,29	29%
2	Cer. Vermelha	21.824,39	11%	Concreto	50.690,82	26%	Alumínio	62.124,89	27%
3	Cimento	16.763,48	9%	Cimento	15.734,38	8%	Concreto	13.631,13	6%
4	Aço	16.177,08	8%	Aço	13.307,95	7%	Fibrocimento	8.507,97	4%
5	Concreto	15.683,19	8%	Fibrocimento	8.507,97	4%	Cimento	5.792,77	3%
6	Areia	11.615,89	6%	Areia	6.307,76	3%	Pedra	4.769,50	2%
7	Fibrocimento	8.507,97	4%	Pedra	5.464,19	3%	PVC	3.247,56	1%
8	PVC	4.095,30	2%	PVC	3.630,90	2%	Tinta	2.766,65	1%
9	Pedra	3.433,11	2%	Cal	3.155,68	2%	Areia	2.535,26	1%
10	Cal	3.272,80	2%	Tinta	2.766,65	1%	Madeira	1.358,35	1%
11	Tinta	2.766,65	1%	Madeira	1.846,08	1%	Cer. Revestimento	1.225,21	1%
12	Madeira	2.324,28	1%	Cer. Revestimento	1.225,21	1%	Cal	24,90	0%
14	Outros	25.034,28	13%	Outros	22519,97	11%	Outros	55.969,90	25%

Tabela 6 - Energia por partes da habitação

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Observa-se, como esperado, que o alumínio foi o material com maior contribuição energética de ambas as Alvenarias, visto que são muito utilizados nas esquadrias da habitação e possuem alto valor de EE/kg agregado. Quanto ao LSF, o alumínio aparece em segundo lugar, perdendo posição para o aço, altamente presente nas estruturas LSF e também com grande valor de EE/kg. O cimento e o aço estão entre as primeiras posições nos três métodos construtivos. Para a estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional o uso de blocos cerâmicos explica a posição de destaque da cerâmica vermelha na contribuição da EE total e para a alvenaria estrutural o uso de blocos de concreto para a alvenaria justifica o posicionamento do concreto.

Para essa habitação o período de retorno energético considerado para as Alvenarias foi de aproximadamente 13 anos e para o sistema LSF foi de 15 anos, o que era esperado, visto que a Energia Embutida Inicial para esse último era maior do que para ambas as alvenarias (convencional e estrutural).

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do consumo energético pode indicar maneiras de se reduzir os impactos ocasionados pela construção civil ainda na fase de projetos, por meio, por exemplo, da utilização de materiais com menores impactos ambientais.

No exemplo adotado fez-se uma comparação de gasto energético entre a estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, de grande uso no País, a alvenaria estrutural, cuja aplicação em obras vem crescendo e o *Light Steel Framing*, sistema ainda pouco conhecido no Brasil. Em comparação à estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, a maior diferença foi observada no LSF, cujo consumo do ciclo de vida foi aproximadamente 1,1 GJ/m² menor.

Portanto, a partir de uma ACVE concluiu-se que o sistema LSF para a habitação escolhida apresenta menor impacto relacionado ao gasto energético, além da rapidez do método e sua construção a seco, o que demonstra também a importância de se pensar em novas tipologias construtivas e em se abrir mais espaço para métodos até agora de pouco uso.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro. 2006.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2014.

ARAÚJO, M. A. A moderna construção sustentável. IDHEA – Instituto para desenvolvimento da Habitação Ecológica. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFHIEAE/a-moderna-construcao-sustentavel?part=2> >. Publicado em fevereiro de 2005. Acesso em: 30 out. 2016.

BARROS, Mercia M. S. B. de; MELHADO Silvio B. Recomendacoes para a produçao de estruturas de concreto armado em edifícios. São Paulo: EPUSP, 1998. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

CALDAS, Lucas Rosse et al. Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e do desempenho térmico de uma habitação de light steel framing com o uso de diferentes tipos de isolantes térmicos. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2016

CAMPOS, Patrícia Farrielo de. Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Sao Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/.../DISSERTACAO_PATRICIA_CAMPOS_CORRIGIDA.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

GLAUMANN, Mauritz et al. Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings. Europe: Enslc Building, 2010. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enslc-building>>. Acesso em: 30 out. 2016.

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Switzerland, 1996. Disponível em: <<https://web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

KATO, Ricardo Bentes. Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta. 2002. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduacao em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/111939/193963.pdf?...1>>. Acesso em: 30 out. 2016.

KLEIN, Bruno Gustavo; MARONEZI, Vinicius. Comparativo orçamentário dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e light steel frame para a construção de conjuntos habitacionais. 2013. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: <repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1487/1/PB_DACOC_2013_1_08.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2016.

MADEIRA, Juliana Grillo da Silva. Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória mediante ações de retrofit em edificação pública escolar. 2019. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S.. Projetos de edifícios de alvenaria estrutural. Sao Paulo: Pini, 2003. 188 p.

RESENDE, Elaine Cristina de Souza Pereira de. A eccoreabilitação e a avaliação do ciclo de vida das edificações. 2011. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011. Disponível em: <<http://www.poscivil.uff.br/conteudo/ecorreabilitacao-e-avaliacao-do-ciclo-de-vida-das-edificacoes>>. Acesso em: 30 out. 2016.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moaraes de. Steel Framing: Arquitetura. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2012. 152 p.

SILVA, Luciano Pires da. Análise do Ciclo de Vida Energético de Habitações de Interesse Social. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/76184?locale=pt_BR>. Acesso em: 17 jul. 2016.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. Alvenaria Estrutural. São Paulo: Pini, 2010. 188 p.

TAVARES, Sérgio Fernando. Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.