

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

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

DOI: 10.5935/2236-0158.20180019

Mariana Tonini de Araujo,<sup>1</sup> Cynara Fiedler Bremer<sup>2</sup>

## RESUMO

Análises de Ciclo de Vida (ACV) são utilizadas em busca de formas mais limpas de produção, sendo a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) um método alternativo que simplifica os estudos e permite a quantificação do consumo energético dos materiais empregados na construção. Este trabalho realiza um estudo de caso do ciclo de vida energético de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para um mesmo projeto: alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing* (LSF), calculando-se a energia dispendida em cada uma das fases que compõem uma ACVE (Fase Pré-Operacional, Fase Operacional e Fase Pós-Operacional) e a energia total gasta, resultado do somatório de todas as fases. Serão utilizados os procedimentos metodológicos descritos por Tavares (2006) a partir do conteúdo energético do material discriminado em MJ/kg ou MJ/m<sup>3</sup>. Finalizada a ACVE para cada tipologia construtiva observou-se que o sistema LSF é o mais sustentável do ponto de vista energético, o que em conjunto com a rapidez do método e sua construção a seco, demonstra a importância de se pensar em novas tipologias construtivas e se abrir mais espaço para métodos até então pouco utilizados.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; construção civil; tipologias construtivas; Análise do Ciclo de Vida Energético.

## ABSTRACT

Life Cycle Analysis (LCA) are used in order to search for cleaner ways of production, being the Life Cycle Energy Analysis (LCEA) an alternative method that simplifies research and allows the energy consumption quantification of materials used at construction sites. This work realises a case study of the energetic life cycle of a dwelling considering three typologies of construction for the same project: conventional masonry, structural masonry and light steel framing (LSF), calculating the energy expended in each phase that composes a LCEA (Pre-operational Phase, Operational Phase, Post-Operational Phase) and total energy spent, result of the sum of all phases. The methodological procedures described by Tavares (2006) will be used from the energy content of the material, discriminated in MJ/kg or MJ/m<sup>3</sup>. After the LCEA was carried out for each typology of construction, it was observed that the LSF is the most sustainable at an energetic point of view, which together with the rapidity of the method and its dry construction, demonstrates the importance of thinking about new construction methods and opening up more spaces for methods little used until now.

**Keywords:** Sustainability; civil construction; constructive typologies; Life Cycle Energy Analysis.

1 Mestranda do PROPEC UFOP; marianatonini93@gmail.com

2 Professora Doutora EA UFMG; cynarafiedlerbremer@ufmg.br

## INTRODUÇÃO

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, que pode vir a comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras. Nesse contexto, uma maior consciência ambiental na construção civil é de suma importância, 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).

Em busca da mitigação dos impactos ambientais na produção de bens e serviços surgem as Análises de Ciclo de Vida (ACV). As ACV de edificações permitem uma quantificação mais precisa dos insumos utilizados, porém são complexas e dispendem de tempo e recursos consideráveis. Como estudos de ACV indicam impactos significativos relativos ao consumo de energia, uma Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), por demandar menos recursos para sua execução, torna-se uma alternativa viável (TAVARES, 2006).

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).

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso do ciclo energético de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para um mesmo projeto: alvenaria convencional, alvenaria estrutural e Light Steel Framing. Esses sistemas, por apresentarem diferentes materiais para a construção da

habitação irão possibilitar 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. 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 assim para que a edificação seja mais ou menos sustentável, respectivamente.

## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

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. Nesse contexto, métodos como a Análise de Ciclo de Vida (ACV) podem ser utilizados com o objetivo de se alcançar uma maior sustentabilidade na edificação.

Segundo Araújo (2005), a Análise de Ciclo de Vida (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).

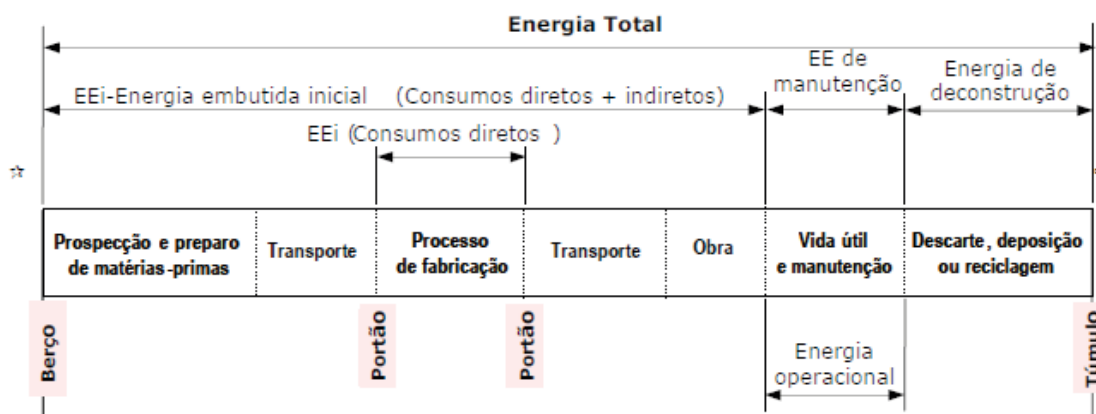
A ACV estuda interferências e aspectos relacionados ao meio ambiente do berço ao túmulo do produto, e seu “princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado” (RESENDE, 2011 p. 55). Em cada fase do ciclo de vida levanta-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 menores 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 CO<sub>2</sub>. 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 (ISO, 1997), 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 (TAVARES, 2006).

**Energia Operacional** são os consumos de eletricidade e energia de cocção (para o preparo de alimentos) ao longo da vida útil da edificação, **Energia de Manutenção** são os insumos energéticos gastos em reformas e manutenções e por fim **Energia de Desconstrução** é aquela consumida ao final do ciclo por descarte, demolição ou reciclagem. Caso novas edifica-

ções utilizem-se de materiais reciclados, o débito de energia embutida contida neles pode ser contabilizado (TAVARES, 2006).

Em relação aos parâmetros descritos, em uma ACVE de edificações, usualmente as unidades utilizadas são GJ/domicílio ou GJ/m<sup>2</sup> (TAVARES, 2006).

Nesse trabalho é realizado um estudo de caso do ciclo energético de uma habitação considerando-se três diferentes tipologias de construção para um mesmo projeto. Esses métodos são alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing*, que por apresentarem diferentes materiais para a construção da habitação irão, em consequência, possibilitar uma análise diferente em termos de consumo energético para cada sistema construtivo. Assim, maior enfoque será dado a Fase Pré-Operacional, a qual compreende os materiais utilizados durante a construção da dita residência.

## Alvenaria convencional

O termo alvenaria convencional é utilizado nesse trabalho para estruturas em concreto armado com vedação em blocos cerâmicos (KLEIN; MARONEZI, 2013). Segundo Barros e Melhado (1998, p.4) “os edificios convencionais em concreto armado são aqueles produzidos com uma estrutura de vigas, pilares e lajes de concreto armado moldados no local.”

A estrutura em concreto armado ou convencional é a mais empregada no Brasil pela sua popularidade e consequente familiaridade que os trabalhadores da construção civil têm com esse método construtivo (PILLOTO; VALLE, 2011).

## Alvenaria estrutural

Segundo Tauil e Nese (2010), na alvenaria estrutural não são utilizados vigas e pilares, visto que as paredes chamadas de portantes compõem a estrutura da edificação, distribuindo uniformemente as cargas ao longo das fundações.

Na alvenaria estrutural as paredes não são utilizadas apenas como elementos de vedação, mas também como elementos resistentes a esforços verticais, impactos, cargas de ocupação e esforços laterais resultantes da ação do vento. Além disso, as paredes estruturais devem prover estanqueidade, isolamento acústico e térmico e possuir bom desempenho em relação a ação do fogo (KATO, 2002). As unidades para edificação são blocos de concreto ou cerâmicos, sendo o bloco de concreto o escolhido para o projeto utilizado neste trabalho.

Um dos motivos da utilização desse sistema na construção de habitações populares é por tratar-se de um sistema rápido e seguro em comparação com a alvenaria convencional (KLEIN; MARONEZI, 2013). Ainda conforme Ramalho e Corrêa (2003), a alvenaria estrutural não-armada de blocos vazados de concreto tanto pela economia quanto pelo elevado número de fornecedores é indicada para edificações residenciais de padrão baixo.

## Light Steel Framing

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), o sistema *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema industrializado que possibilita uma

construção a seco com rapidez e qualidade, sendo conhecido por ser um sistema autoportante constituído por perfis de aço galvanizados formados a frio utilizados para a composição de vigas, lajes, painéis estruturais e não-estruturais, tesouras de telhado e demais componentes.

No Brasil, onde prevalece o método artesanal, esse sistema ainda é pouco conhecido, de forma que em um primeiro momento para se auxiliar na visualização do sistema pode-se recorrer ao *drywall*, amplamente utilizado no País para vedações internas e que utiliza perfis de aço como esqueleto para fechamentos realizados por placas fixadas. Entretanto, o *drywall* não possui função estrutural, sendo o LSF um sistema muito mais amplo, capaz de integrar todos os sistemas necessários à construção de uma edificação (SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Em relação à habitação popular, é possível encontrar alguns conjuntos habitacionais construídos em LSF no País, como o conjunto do Programa Vila Dignidade, em Avaré/SP, cujo objetivo é a construção de pequenas vilas (CAMPOS, 2014).

## MÉTODO

Para se proceder à análise energética do ciclo de vida da habitação popular que é objeto de estudo desse trabalho, serão utilizados os procedimentos metodológicos descritos por Tavares (2006) para a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de edificações residenciais, com as adaptações necessárias.

Segundo Tavares (2006, p. 86), “o ciclo de vida é dividido em três fases e doze etapas para a determinação do consumo energético dos eventos significativos”. As três fases são: Fase Pré-Operacional, Fase Operacional e Fase Pós-Operacional (Figura 2). A Fase Pré-Operacional caracteriza-se pelo consumo intensivo de materiais durante a construção da edificação. A Fase Operacional relaciona-se ao consumo de energia por parte dos moradores durante a vida útil da edificação. Por fim, a Fase Pós-Operacional vem ganhando importância devido à possibilidade de reutilização e/ou reciclagem dos materiais resultantes do processo de demolição (TAVARES, 2006).

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 a 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 40,80m<sup>2</sup> de área construída e 36,99m<sup>2</sup> de área útil nos parâmetros construtivos de alvenaria convencional.

Figura 2 - Descrição das etapas que compõem uma ACVE de edificações residenciais

FASE	ETAPAS	SIGLA	DESCRIÇÃO
Pré - operacional	1	EE <sub>mat</sub>	Prospecção, fabricação e transporte de insumos
	2		Fabricação dos materiais de construção
	3	E <sub>tr,mat</sub>	Transporte dos materiais de construção
	4	E <sub>eq,obra</sub>	Energia consumida por equipamentos na obra
	5	E <sub>tr,obra</sub>	Transporte dos trabalhadores até a obra
	6	E <sub>desp</sub>	Desperdício de materiais
	7	E <sub>tr,desp</sub>	Transporte do desperdício
Operacional	8	EE <sub>manut</sub>	Reposição de materiais
	9	E <sub>equip</sub>	Energia consumida por equipamentos eletrodomésticos
	10	E <sub>cocção</sub>	Energia para cocção de alimentos
Pós - op.	11	E <sub>dem</sub>	Demolição e remoção dos resíduos
	12	E <sub>tr,dem</sub>	Transporte do material demolido

Fonte: TAVARES (2006).

## Cálculo dos consumos energéticos para uma ACVE

### • Fases principais

A energia total do ciclo de vida de uma edificação em MJ/m<sup>2</sup> 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.

### → Fase pré-operacional

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

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m<sub>i</sub> = quantidade de material de construção (kg);

CE<sub>mat<sub>i</sub></sub> = conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

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

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m<sub>i</sub> = quantidade de material de construção (kg);

l<sub>i</sub> = distância do fabricante de material ao sítio da obra (km);

CE<sub>tr</sub> = conteúdo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

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

Onde:

p = número de formas de consumo energético;

j = formas de consumo energético;

E<sub>j</sub> = quantidade de energia consumida nas atividades da obra (MJ).

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

Onde:

t = quantidade de trabalhadores x peso unitário 70 kg;

n<sub>d</sub> = número de dias úteis da obra;

l<sub>m</sub> = distância média percorrida pelos trabalhadores até a obra (km);

CE<sub>tr</sub> = consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

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

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

m<sub>i</sub> = quantidade de material de construção (kg);

d<sub>i</sub> = fator de desperdício do material;

CE<sub>mat<sub>i</sub></sub> = Conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

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

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).

### → Fase operacional

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

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).

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

Onde:

$h$  = fator do consumo relativo ao N° de habitantes da edificação;  
 $a$  = fator do consumo relativo à área da edificação;  
 $r$  = fator do consumo relativo ao rendimento do grupo de habitantes.

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

Onde:

$E_{equip}$  = energia consumida por equipamentos;  
 $c$  = fator de consumo de Energia de cocção relativo ao consumo de energia elétrica.

### → Fase pós-operacional

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

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.

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

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.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 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 alvenaria convencional, estrutural e LSF. Já a Tabela 2 mostra os consumos totais por fases, em GJ/m<sup>2</sup>, para cada método.

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

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

\* Contabilizado a parte

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

Tabela 2 – Resultados por fases do ciclo de vida

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

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

Em uma análise superficial dos dados acima percebe-se uma predominância do consumo na fase operacional, em destaque a Energia de Cocção, para os três métodos. Foram encontrados valores muito próximos para as Alvenarias Convencional e 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 a 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 EE, 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, sendo o peso em kg dos materiais usados na obra a base do **cálculo do consumo operacional**.

Observa-se que em todos os sistemas construtivos a Energia Embutida Total supera

a Energia Operacional de equipamentos, denotando a importância do consumo energético em materiais de construção e todos os seus processos.

### Consumo energético por partes da edificação

As Tabelas 3, 4 e 5 a demonstram a Energia Embutida Inicial e a Energia Embutida de Manutenção por partes da habitação para cada sistema construtivo.

Tabela 3 – Energia por partes da habitação, Alvenaria Convencional.

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - ALVENARIA CONVENCIONAL								
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	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
<b>Total MJ</b>	<b>161240,64</b>	<b>8080,68</b>	<b>17777,76</b>	<b>6524,23</b>	<b>193623,31</b>	<b>164769,97</b>	<b>67,13</b>	<b>552083,71</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>3,95</b>	<b>0,20</b>	<b>0,44</b>	<b>0,16</b>	<b>4,75</b>	<b>4,04</b>	<b>0,002</b>	<b>13,53</b>

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



Tabela 4 – Energia por partes da habitação, Alvenaria Estrutural.

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
<b>Total MJ</b>	<b>165252,77</b>	<b>8583,01</b>	<b>18279,01</b>	<b>5260,07</b>	<b>197282,45</b>	<b>165793,50</b>	<b>56,45</b>	<b>566754,84</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>3,87</b>	<b>0,20</b>	<b>0,43</b>	<b>0,12</b>	<b>4,62</b>	<b>3,88</b>	<b>0,001</b>	<b>13,26</b>

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

Tabela 5 – Energia por partes da habitação, LSF

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
<b>Total MJ</b>	<b>208576,68</b>	<b>3871,81</b>	<b>12377,33</b>	<b>2575,56</b>	<b>227401,39</b>	<b>126290,81</b>	<b>90,71</b>	<b>581184,29</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>4,93</b>	<b>0,09</b>	<b>0,29</b>	<b>0,06</b>	<b>5,38</b>	<b>2,99</b>	<b>0,002</b>	<b>13,74</b>

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/m<sup>2</sup> superior às Alvenarias. Esse acréscimo deve-se a utilização da estrutura *Light Steel Frame* 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 se nota 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 nas Alvenarias Convencional e 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).

### Consumo de energia por materiais de construção

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

Tabela 6 – Energia por partes da habitação.

	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%

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

Observa-se, como esperado, que o alumínio foi o material com maior contribuição energética para o CVE 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 com grande valor de EE/kg. O cimento e o aço estão entre as primeiras posições nos três métodos. Para a 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 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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do consumo energético pode indicar maneiras de se reduzir os impactos ocasionados pela construção civil ainda na fase de projetos, através por exemplo, da utilização de materiais menos poluentes e métodos construtivos mais sustentáveis.

Nesse trabalho fez-se uma comparação de gasto energético entre Alvenaria Convencional, de grande uso no País, Alvenaria Estrutural, cuja aplicação em obras vem crescendo e *Light Steel Framing*, sistema ainda pouco conhecido no Brasil. Em comparação a Alvenaria Convencional, a maior diferença foi observada no LSF, cujo consumo do ciclo de vida foi aproximadamente 1,1 GJ/m<sup>2</sup> menor.

Portanto, a partir de uma ACVE concluiu-se que o sistema LSF para a residência apresenta maior sustentabilidade, 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. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1998. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <[www.pcc.usp.br/files/text/publicacoes/TT\\_00004.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publicacoes/TT_00004.pdf)>. Acesso em: 30 out. 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 São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/.../DISSERTACAO\\_PATRICIA\\_CAMPOS\\_CORRIGIDA.pdf](http://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: Enslic Building, 2010. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enslic-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-gradua-

ção 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, Vinícius. **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\\_DA-COC\\_2013\\_1\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1487/1/PB_DA-COC_2013_1_08.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

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

RESENDE, Elaine Cristina de Souza Pereira de. **A ecorreabilitação 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 Moa-raes 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](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.

## DADOS DAS AUTORAS



Mariana Tonini de Araujo – Mestranda em Construção Metálica pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2016/2. Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) junto ao Departamento de Transportes e Geotecnia da UFMG (ETG) durante o segundo semestre de 2013. Estudou Civil Engineering durante o ano de 2014 no País de Gales (UK) em Swansea University como Bolsista do Programa Ciências sem Fronteiras pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



Cynara Fiedler Bremer – Pós Doutora pela Universität des Saarlandes, Alemanha (2015). Doutora em Engenharia de Estruturas pela UFMG (2007). Mestre em Engenharia de Estruturas pela UFMG (1999). Engenheira Civil pela UFMG (1996). Professora da Universidade Federal de Minas Gerais desde 2010, Escola de Arquitetura, Departamento de Tecnologia do Design da Arquitetura e do Urbanismo. Leciona disciplinas nos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Design e no curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído. Áreas de interesse: Estruturas, Ensaios não destrutivos, Biomimetismo e Biônica, Sustentabilidade na Construção Civil, Tecnologia da Construção, Ensino a Distância (EaD).