



DETERMINAÇÃO DA ENERGIA EMBUTIDA EM EDIFICAÇÕES; UM ATRIBUTO DE SUSTENTABILIDADE

Sergio F. Tavares(1), Roberto Lamberts(2)

(1) CEFET/RJ – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - Av. Maracanã 229. CEP 20271-110, Rio de Janeiro, Brasil. - Tel. +55 21 2569-3022, Rm 149, Telefax: +55 21 2569-4495 - E-mail: sergio@labeee.ufsc.br, sergioft22@yahoo.com.br,

(2) UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina - CTC / ECV / NPC / LabEEE, Campus Universitário – Trindade. Caixa Postal 476. CEP 88040-900. Florianópolis – SC - Tel.: +55 48 331-7090, FAX +55 48 331-5191 - E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO:

Em todo o mundo a construção civil é a atividade humana com os maiores impactos sob o meio ambiente. O uso de recursos naturais para fabricação de materiais de construção e consumo de energia por fontes não renováveis geram impactos ambientais consideráveis. Projetos de construções sustentáveis buscam minimizar estes impactos sem comprometer às necessidades básicas das pessoas envolvidas em todos os estágios deste ciclo. Um dos critérios para tal é a redução da energia embutida na edificação, através do uso de materiais adequados e respectivos processos construtivos. O trabalho visa orientar os projetistas sobre a energia embutida em edificações a partir da escolha dos materiais e técnicas construtivas. Como estudo de caso é avaliada a energia embutida em uma edificação residencial projetada segundo o modelo H1 padrão baixo da norma NBR-12721. Os valores encontrados são comparados com edificações de outros países e estratificados segundo os materiais utilizados e as partes da edificação. Determina-se a parcela de energia embutida atribuída ao desperdício e o transporte de materiais de construção, além de serem discutidas opções de redução de consumo energético pela escolha dos materiais e tipologias construtivas.

Palavras chave: Edificações sustentáveis, Energia embutida, Materiais de construção.

ABSTRACT:

The Building sector is the human activity with biggest impacts under the environment around the world. The use of natural resources for manufacture of building materials and the consumption of non-renewable energy lead to considerable environmental impacts. Projects of sustainable constructions may minimize these impacts without compromising the basic necessities of the people that are involved over this cycle. One of the issues for the reduction of the building embodied energy is by using adequate materials and respective constructive processes. The work aims to guide the designers on the building embodied energy from the choice of the building materials and constructive techniques. As a case study, it is evaluated the embodied energy in a residential construction projected according to H1 model low standard of norm NBR-12721. The results are compared to constructions of other countries and they are stratified according to the materials that are used and the parts of the construction. It is determined the amount of embodied energy attributed to the building material waste, transport, and also options for reduction of the energy consumption by choosing the materials and building types.

Keywords: Sustainable buildings, Embodied energy, Building materials.

1. INTRODUÇÃO:

1.1 Considerações Iniciais:

Em todo o mundo a construção civil é a atividade humana com os maiores impactos sob o meio ambiente. Isto se justifica por ser o setor que mais demanda energia e recursos naturais, em torno de 40 e 50 % respectivamente (LIPPIATT, 1998). Tal colocação é feita a partir do conceito de ciclo de vida das edificações que se inicia na fabricação dos materiais de construção, passa pelo transporte dos mesmos até o sítio das construções, pela obra propriamente dita, prolongando-se pela vida útil da edificação até a demolição e deposição final dos materiais.

Embora esses impactos sejam de várias naturezas, os mais significativos estão associados ao consumo de energia ao longo deste ciclo. Uma abordagem efetiva para discriminá-lo e mensurá-lo tal consumo seria a análise energética do ciclo de vida da edificação (FAY, 2000; TRELOAR, 2000). A fig. 1 traz uma representação gráfica situando as etapas a serem observadas.

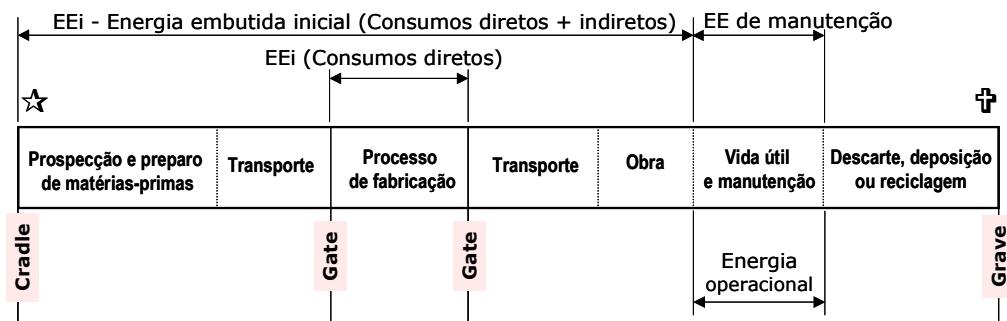


Figura 1 - Ciclo de vida energético de uma edificação

Análises desta natureza indicam que a maior parte da energia consumida está na etapa da vida útil, pelo consumo dos equipamentos e climatização, denominada de energia operacional. Outra parcela considerável é da etapa de fabricação dos materiais de construção e da obra, denominada de energia embutida inicial. Acrescida da energia consumida nos materiais de reposição durante a vida útil, chamada energia embutida de manutenção, completa-se a energia embutida total. Análises realizadas em edificações residenciais nos Estados Unidos, Austrália e Suécia informam percentuais de 16% até 46% de Energia Embutida no total de energia consumida em um ciclo de vida de 50 anos (BLANCHARD, 1998; FAY, 2000; THORMARK, 2002).

1.2. Justificativas:

Apesar do pouco estudo chama a atenção o alto consumo energético dos materiais de construção no Brasil. Cinco entre os dez setores industriais de maior consumo no país: cimento, cerâmica, aço, metais não ferrosos e mineração, estão diretamente relacionados com a construção civil, ressaltando que 65 % do consumo destes setores, o que equivale a 27381,37 toneladas equivalentes de petróleo – tep-anuais, são de fontes não renováveis, conforme o Balanço Energético Nacional – BEN – (BRASIL, 2003).

Como signatário do Protocolo de Kyoto o país deve ter um planejamento de controle das emissões de gases do efeito estufa, que são gerados em grande parte pela fabricação dos materiais de construção. Estima-se que de 4 a 5% de todo o CO₂ despejado pelas atividades humanas na atmosfera provenham da fabricação de cimento (MARLAND, 2003).

Dentre os setores da construção as residências apresentam um crescimento físico de 1.350.000 domicílios por ano (PNAD, 2003), além de terem aumentado em 90% seu consumo de energia elétrica nos últimos quinze anos (BRASIL, 2003). Destaca-se também o alto índice de desperdício de materiais nas obras, cuja média fica em torno de 19%; porém alguns materiais chegam a 50% como o caso da areia (AGOPYAN, 1998).

2. OBJETIVO:

O objetivo deste artigo é detalhar a Energia Embutida –EE- em uma edificação residencial típica brasileira, discriminando a contribuição dos materiais mais significativos.

São estudados os efeitos do desperdício na etapa da obra e do transporte até a mesma, além da participação de cada parte desta edificação como, por exemplo, cobertura e alvenaria, para o valor da EE total. Também são discutidas opções de redução de consumo energético pela escolha dos materiais e tipologias construtivas.

3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE ENERGIA EMBUTIDA:

EE pode ser definida como o total de insumos energéticos necessários para a fabricação e distribuição de um produto. Desta forma devem ser considerados os consumos para extração e processamento das matérias primas utilizadas, transporte, energia consumida nos insumos necessários, como bens de capital, e o consumo direto no processo estudado.

A análise da EE em um bem ou serviço é realizada usualmente por quatro métodos: Análise de Processo, Análise Estatística, Análise por matrizes Insumo x Produto e Análise Híbrida (BAIRD, 1997). Neste artigo será feita uma análise híbrida considerando análise de processo e análise estatística.

4. ENERGIA EMBUTIDA EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL:

Segundo a definição de ciclo de vida apresentada no item 1, a EE em uma edificação abrange o consumo energético dos materiais de construção utilizados e a etapa da obra propriamente dita até o início de sua vida útil. Para tanto é necessário inicialmente um método para levantamento dos materiais que resulte em uma descrição detalhada do projeto e do quantitativo de todos os materiais empregados, o que pode ser obtido pela composição de orçamentos. Deve se observar a discriminação de todos os materiais em kg, o que implica no uso de uma planilha para a conversão das quantidades de alguns materiais.

5. ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO BRASILEIRA:

5.1. Descrição da edificação:

A edificação utilizada como estudo de caso é o modelo H1-2B descrito na NBR 12721 (ABNT, 1999). Os quantitativos de materiais foram extraídos da própria norma, onde estão detalhadas as especificações de acabamentos. O detalhamento dos quantitativos por partes da edificação foi baseado nos índices das Tabelas para Composição de Preços e Orçamentos (TCPO, 2003). As características principais da edificação estão na Tabela 1.

Tab. 1: Características básicas do modelo H1-2B da NBR 12721

Área da unidade	63 m ²
Dimensões	Externas 7,0 x 9,0 m Área do terreno 98 m ²
Divisões internas	Pé direito 2,8 m
	Sala 21,0 m ²
	2 Quartos 27,0 m ²
	Cozinha 9,0 m ²
	Banheiro 4,3 m ²
	Circulação 1,7 m ²
Estrutura	Concreto armado
Paredes	Blocos cerâmicos 8 furos (9 x 19 x 19). Dimensões totais = 14 cm (9 bloco, 2,5 reb. Int., 2,5 reb. Ext.)
Acabamentos das Paredes	Reboco interno e externo, pintura em branco. Azulejos até 1,80 m na cozinha e banheiro.
Cobertura	Laje armada em blocos cerâmicos, vigotas em concreto armado. Espessura total 12 cm, rebocada. Recoberta com telhas de fibrocimento sobre estrutura de madeira.
Janelas	Esquadrias de ferro, vidros planos simples esp. 3mm. Área de esquadrias = 1/6 da área do piso
Portas	Portas em madeira: Ext. 0,9 x 2,10; int. 0,7 x 2,10
Pisos	Banheiro e cozinha em cerâmica comum e demais cômodos em tacos de madeira.

5.2 Energia embutida em materiais de construção utilizados no Brasil:

Dados desta natureza no Brasil são escassos e divulgados de forma indireta. Neste trabalho procurou-se consolidar os dados brasileiros disponíveis em levantamentos anteriores (BRASIL, 1982; GUIMARÃES, 1985; IPT 1982). Foram revisados os valores dos materiais mais significativos através de análise híbrida. Os dados relativos à cerâmica vermelha e de revestimento foram levantados diretamente nas indústrias produtoras (SOARES, 2003). Os relativos ao cimento foram levantados em empresas e revistos por análise estatística com dados do BEN. Aço e alumínio foram obtidos por análise estatística com dados do Ministério da Indústria e Comércio –MIC- e do BEN (BRASIL, 2003). Valores indisponíveis foram complementados por uma média de dados internacionais (BLANCHARD, 1998; BAIRD, ALCORN, 1997; LAWSON, 1996; ANDERSEN, 1993, SCHEUER, 2003).

5.3 Transporte de materiais:

Como praticamente todo o transporte de materiais de construção para o sítio das obras no Brasil é feito por rodovia, foi utilizado o fator de consumo de óleo diesel relativo a um caminhão de médio porte (BRASIL, 1982). Para uma distância média de 80 km calcula-se um fator de 0,08 MJ/kg de material transportado.

5.4 Desperdício de materiais:

Os fatores de desperdícios são definidos segundo pesquisa de âmbito nacional (AGOPYAN, 1998) e são aplicados para o volume de cada material nas partes específicas da edificação.

6. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados da energia embutida na edificação considerando as etapas de transporte e o desperdício associado à obra.

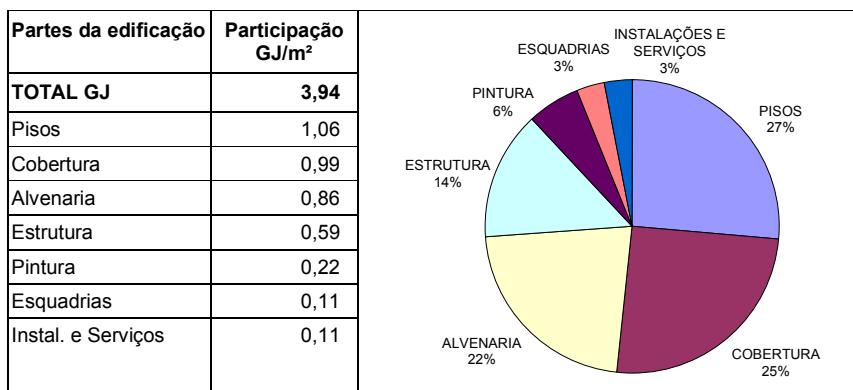
Tabela 2: Energia embutida na edificação brasileira - modelo do modelo H1-2B da NBR 12721

Materiais	Un. Material	EE - MJ/kg	EE - MJ/un.	Quant. Mat. / m ² - NBR 12721	EE Edificação (GJ/m ²)	EE Transporte	EE Ed. Corrig. trans (GJ/m ²)	Fator desp	EE Trans e desp. (GJ/m ²)	Partic. %	Partic. Cum. %
Cimento Portland 32	kg	5,2	5,20	239,897	1,247	5,28	1,267	1,40	1,773	45	45
Tijolo 8 furos (10x20x20 cm)	Bl. 2,4 kg	3,1	7,44	81,715	0,608	7,632	0,624	1,20	0,748	19	64
Aço CA 50A D=12,5 mm	kg	31,0	31,00	17,928	0,556	31,08	0,557	1,10	0,613	16	80
Chapa compensado resinado 17 mm	m ²	5,0	48,00	2,804	0,135	51,07	0,143	1,15	0,165	4	84
Telha ondulada fibrocimento esp. = 6mm	m ²	6,0	48,00	2,256	0,108	48,8	0,110	1,10	0,121	3	87
Azulejo branco (15x15 cm)	m ²	5,0	55,00	1,458	0,080	56,09	0,082	1,15	0,094	2	89
Cerâmica esmaltada (7,5 x 15 cm)	m ²	6,0	110,00	0,386	0,042	112,18	0,043	1,15	0,050	1	90
Fio termoplástico área = 1,5 mm	m	72,0	1,46	34,359	0,050	2,16	0,074	1,25	0,093	2	93
Basculante de ferro (60x100 cm)	m ²	31,0	233,27	0,159	0,037	234,07	0,037	1,00	0,037	1	94
Outros (16)					0,198		0,201		0,250	6	100
Total					3,060		3,137		3,940	100	100

Verifica-se que o transporte acresce 2,5%, enquanto o desperdício 25%, à energia embutida inicialmente calculada. Na contribuição de cada material apenas três respondem por 80 % de toda a energia embutida e seis por 90%, para 25 materiais considerados. O cimento é predominante, ainda que não se considerasse seu alto grau de desperdício, tendo o dobro de contribuição em relação ao segundo material.

Quanto à distribuição por partes da edificação a tabela 3 apresenta os resultados obtidos pela associação aos quantitativos de materiais detalhados (TCPO, 2003)

Tabela 3: Energia embutida por partes da edificação



7. CONCLUSÕES:

A EE na edificação brasileira estudada é pouco mais baixa que outras em trabalhos internacionais. A tabela 4 dá os parâmetros em GJ/m².

Tab. 4 Comparação da Energia Embutida em edificações internacionais

EDIFICAÇÃO	EE inicial	Referência
USA	4,1	BLANCHARD, 1998
Austrália	6,0	FAY, 2000
Suécia	4,6	THORMARK, 2002
Canadá	4,8	COLE, 1996
Brasil	3,9	

Observe-se, no entanto, que estas edificações contabilizam os mobiliários e demais equipamentos domésticos nos seus índices, que não foram considerados na edificação brasileira. Por outro lado também não são considerados nas estrangeiras os desperdícios. É relevante também o fato de que estas estão situadas em climas temperados e frios onde aumenta o uso de materiais de isolamento térmico, os quais têm altos índices de EE.

Verifica-se, independente de ajustes possíveis, que a edificação brasileira tem as seguintes possibilidades de redução de EE:

- Preferência por materiais de menor consumo energético por kg e por volume, como madeiras e compósitos;
- Redução dos desperdícios, pois seus consumos representam 25 % da EE;
- Materiais como cimento e areia têm alto índice de desperdício e são difíceis de serem reaproveitados ou reciclados;
- Uso de alvenarias estruturais reduzindo a necessidade do uso de concreto e aço;
- Uso de materiais de maior durabilidade na perspectiva da EE de manutenção.

Uma consideração ainda pode ser feita sobre o conteúdo energético dos materiais de construção brasileiros. A relação da produção física com a energia consumida nos principais setores ligados à construção civil como cimento, cerâmica, aços e metalurgia, em geral têm se mantido constante nos últimos 20 anos (BEN, 2003). Por outro lado o consumo operacional residencial tende a diminuir no sentido do desenvolvimento de equipamentos de maior eficiência energética, como geladeiras e lâmpadas, ao longo do ciclo de vida da edificação. Assim a proporção da Energia Embutida tenderia a se destacar ao longo do Ciclo de Vida.

REFERÊNCIAS:

- AGOPYAN, V. et al. *Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras. Relatório Final.* PCC-USP/FINEP/ITQC, 5 volumes. 1355 p. Setembro de 1998.
- ANDERSEN, S. et al. *Livscyclus-baseret bygning-sprojektering. Report No 224.* Danish Building Research Institute. Hørsholm. Denmark. 1993.
- BAIRD, G.; ALCORN, A.; HASLAM, P. The energy embodied in building materials - updated New Zealand coefficients and their significance. *IPENZ Transactions, Vol. 24, No. 1/CE.* 1997.
- BLANCHARD, S; REPPE, P. *Life cycle analysis of a residential home in Michigan - Report Nº 1998-5.* University of Michigan. USA. Setembro, 1998.
- BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Balanço Energético de Edificações Típicas.* Brasília, 1982.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2003.* Brasília, 2003.
- COLE, R.; KERNAN, P.C. Life cycle energy use in Office Buildings. *Building and Environment* 31 No 4, p. 307 – 317. Elsevier Science 1996.
- FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building Research and Information*, 28 (1) p. 31-41 JAN-FEB. Routledge, London. 2000.
- GUIMARÃES, G. D. *Análise energética na construção de habitações.* Rio de Janeiro, 1985. Dissertação de mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE, UFRJ.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2000.* Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>, acessado em abril de 2003.
- IFIAS - International Federation of Institutes for Advanced Study. *Energy Analysis Workshop on Methodology and Convention.* Workshop Report Nº 6. Stockholm, Sweden. 1974.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Pesquisa de oferta de materiais de construção no Estado de São Paulo.* São Paulo. 1982.
- LAWSON, B. *Building Materials Energy and Environment – towards ecologically development.* University of New South Wales, Sidney, Australia. 123p. 1996.
- LIPPIATT, B. *Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES).* In: CIB World Building Congress - Construction and The Environment. Proceedings. 8 pp. Gävle, June 1998.
- PIETROBON et al. Análise comparativa do consumo energético na fase de fabricação dos materiais de construção. *Anais do III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-, julho de 1995.* ANTAC, 1995.
- PNAD. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de Indicadores 2002.* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Empregos e Rendimento. Rio de Janeiro, 2003. 113p. ISSN 0101-6822
- SCHEUER, Chris et al. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. *Energy and Buildings* 35, p. 1049-1064. Elsevier Science Ltd. 2003.
- SOARES, S.R. (Coord.). *Análise do Ciclo de Vida de Produtos (revestimento, blocos e telhas) do Setor Cerâmico da Indústria de Construção Civil.* Relatórios parciais I/IV e II/IV. Projeto FINEP, CNPq, UFSC. Disponível em <<http://www.ciclodvida.ufsc.br/resultado.htm>>. Acessado em fevereiro de 2003.
- TCPO, Tabelas de composição de Preços para Orçamentos. Editora PINI. São Paulo, 2003. CD-ROM, desenvolvido pela Construnet.
- THORMARK, C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment* 37 p. 429. Elsevier Science Ltd. 2002.
- TRELOAR, G. et al. Analysing the life-cycle energy of an Australian residential building and its householders. *Building Research and Information*, 28 (3) p. 184-195. Routledge, London. 2000.