



CONSUMO DE ENERGIA PARA CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO BRASIL

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 busca da sustentabilidade ambiental, aplicada às edificações, têm-se desenvolvido vários estudos sobre o consumo energético em todas as suas formas no ciclo de vida das edificações. A construção civil é uma das atividades humanas que mais demanda energia e recursos naturais. No Brasil há poucos estudos para investigar e mensurar quanto consumimos de energia neste setor. Utilizando como estudo de caso o setor residencial este artigo objetiva determinar índices de consumo a partir das informações do Balanço Energético Nacional –BEN- e da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios –PNAD-. Projetando-se o consumo energético para a construção de uma edificação típica brasileira para todo o setor residencial, calcula-se que são consumidos 4,5% de todos os recursos energéticos brasileiros apenas para construção de novas edificações e também manutenção e reformas das antigas, por ano. São informadas também as relações de energia embutida e energia operacional gasta nas residências, cujos resultados são compatíveis com estudos anteriores. Recomenda-se a partir destes resultados incrementar os estudos sobre o consumo energético no setor da Construção Civil e notadamente da energia embutida nos materiais de construção e técnicas construtivas.

ABSTRACT

In the search for environmental sustainability of buildings several studies have been developed on energy consumption of all kind in their life cycle. The Building sector is one of the human activities that demands more energy and natural resources. Brazil has few studies to investigate and measure how much energy is actually consumed in this sector. Using as case study the residential sector, this article aims to determine energy consumption based in information of the National Energy Balance - BEN- and National Research of Sample Domiciles - PNAD-. Projecting the energy consumption of a Brazilian typical house for all the residential sector, it is calculated that 4,5% of all Brazilian energy resources are consumed annually for new constructions, also maintenance and reform of the old ones. The relations of embodied and operational energy of the dwellings are also informed and results are compatible with previous studies. The results support the need for more studies on building energy consumption, specially embodied energy in building materials and construction techniques.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

Os estudos sobre consumo energético nas edificações vem crescendo substancialmente na medida da necessidade dos países do mundo inteiro de estabelecer as condições de sustentabilidade ambiental neste setor. Isto se justifica por ser a construção civil o setor da atividade humana que mais demanda energia e recursos naturais, em torno de 40 e 50 % respectivamente (LIPPIATT, 1998). Esta colocação se apóia no conceito abrangente de ciclo de vida da edificação, 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. A Figura 1 exibe as etapas consideradas neste ciclo.



Figura 1: Ciclo de vida de uma edificação

O conjunto das etapas pré-operacionais é também conhecido como energia embutida inicial na edificação. Pesquisas recentes têm demonstrado que, apesar das etapas operacionais apresentarem a maior parte do consumo energético no ciclo de vida da edificação, as etapas pré-operacionais também são significativas podendo chegar a 40% do consumo operacional da edificação (FAY, 2000; THORMARK, 2002). É também relevante o consumo de energia para a fabricação dos materiais utilizados em manutenção e reformas nas edificações durante sua vida útil, que é chamado de energia embutida de reposição ou manutenção.

Apesar de ser um país onde o consumo energético seja baixo em relação a países desenvolvidos e de climas frios o Brasil não está livre de preocupações. 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)

Três setores da economia estão diretamente ligados à construção civil: comercial, público e residencial. O setor industrial está ligado parcialmente devido à produção de materiais de construção

Com relação aos setores diretamente associados o residencial é o de maior consumo específico de recursos energéticos gerais, a saber: eletricidade, gás natural, GLP, lenha, carvão e outros, medidos em toneladas equivalentes de petróleo –tep-, cujos valores nas respectivas divisões setoriais são

divulgados no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2003). A Figura 2 mostra a distribuição do consumo no setor residencial e a Figura 3 o consumo total dos quatro setores ligados direta e indiretamente à Construção Civil.

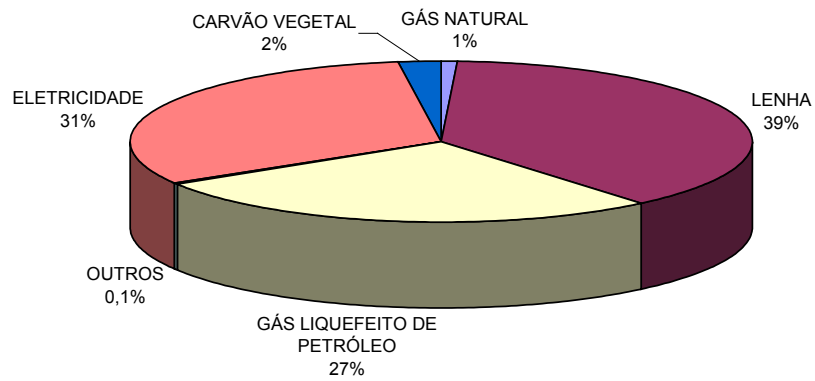


Figura 2: Consumo no setor residencial

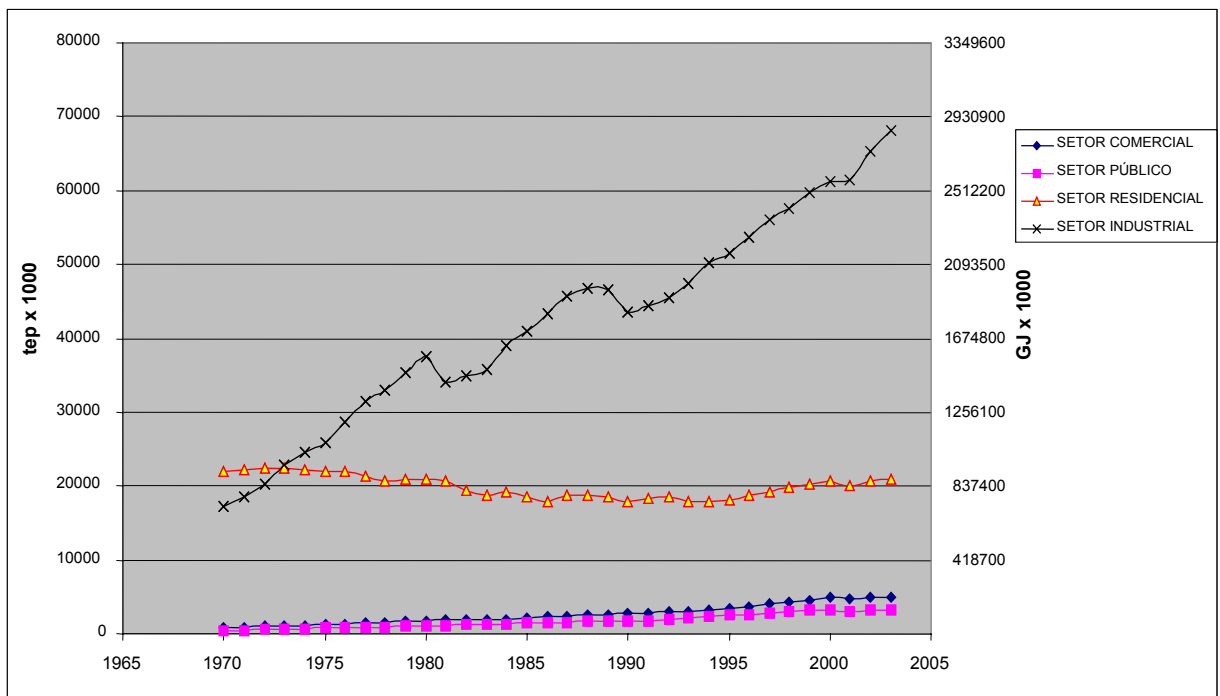


Figura 3: Consumo de energia em todas formas nos setores ligados à construção civil

Por sua vez o consumo de energia elétrica do setor residencial é equivalente a soma dos setores comercial e público, tendo sido superior nos 15 anos anteriores ao racionamento de 2001, conforme mostra a Figura 4.

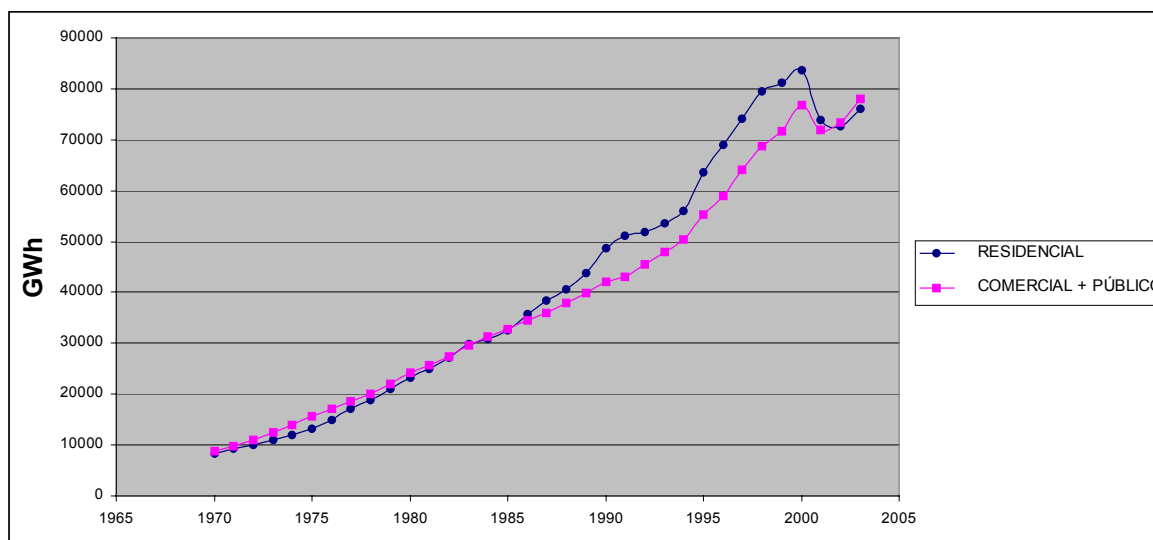


Figura 4: Consumo de energia elétrica nos setores ligados diretamente à construção civil

É relevante também o fato de que as condições de moradia da maior parte da população são muito simples, em termos de edificação e equipamentos. O desenvolvimento do país na última década, associado a um déficit de moradias com padrões mínimos de qualidade, sugere um quadro de crescimento das necessidades energéticas que pode não ser atendido adequadamente.

1.2 Objetivo

O trabalho propõe uma análise do consumo energético, a partir de todas as fontes, no setor da construção civil no Brasil, particularmente as edificações residenciais, destacando a relação da energia embutida e do consumo na fase operacional.

2. ESTUDOS SOBRE ENERGIA E EDIFICAÇÕES NO BRASIL.

Este item faz uma breve revisão de estudos e documentos sobre edificações e consumo energético. No Brasil são publicados anualmente dois trabalhos de âmbito nacional com informações neste sentido.

O Balanço Energético Nacional – BEN – (BRASIL, 2003) é um documento divulgado pelo Ministério das Minas e Energia que contabiliza o consumo de energia nos principais setores de atividade econômica e a produção de energia por fontes primárias e secundárias. Entre os setores destacados estão aqueles ligados diretamente à construção civil: residencial, comercial e público. O setor industrial tem uma ligação no tocante à produção de materiais de construção. Esta participação é estimada para cada setor citado anteriormente através do número de construções e o valor da energia embutida por metro quadrado de construção.

A Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios – PNAD – (PNAD, 2003) realizada pelo IBGE, informa, entre outros, os dados relativos ao número de domicílios, habitantes por domicílios, número de quartos e principais equipamentos encontrados nas edificações residenciais, não dispondo de dados sobre os setores comercial e público.

Estes são os documentos oficiais que melhor detalham dados setoriais para análise das relações de consumo energético propostas.

Entretanto sobre consumo energético em todo o ciclo de vida de uma edificação há poucos dados disponíveis. Em três trabalhos pesquisados foram levantados apenas os consumos na etapa pré operacional.

O trabalho do Ministério da Indústria e Comércio - MIC - através do Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC/MG- (BRASIL, 1982) avaliou o conteúdo energético de três edificações: um prédio comercial, uma repartição pública e o projeto de uma edificação residencial. Os resultados foram respectivamente: 2,19 , 1,50 e 1,00 GJ/m². Também foi realizado um levantamento do consumo de energia dos principais materiais de construção utilizados no Estado de Minas Gerais.

Pietrobon et al. (1995) fez a comparação dos consumos energéticos embutidos nos modelos de edificações previstas na norma NBR 12721 de novembro de 1999 relacionando-os com o CUB – Custo Unitário Básico das construções. A média encontrada para residências térreas foi de 3,6 GJ/m².

A pesquisa de Guimarães (1985) realizou uma análise energética em construções residenciais populares baseando-se em dados de consumo energético de materiais do trabalho do CETEC/MG citado anteriormente, de uma pesquisa do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1982) e acrescentando alguns levantamentos próprios. O valor encontrado para uma edificação multifamiliar de padrão popular foi de 2,47 GJ/m².

Já Tavares e Lamberts (2004) analisaram o consumo energético de uma edificação residencial para um ciclo de vida de 50 anos. A edificação foi o modelo H1-2B prescrito na norma NBR 12721. São calculados os insumos energéticos dos materiais de construção e da obra, a chamada energia embutida inicial (EE Inicial), dos materiais usados em reformas e manutenção, a chamada energia embutida de reposição (EE Reposição), e os consumos de eletricidade e energia de cocção na vida útil, a energia operacional. A Tabela 1 apresenta os principais resultados em GJ.

Tabela 1: Resumo dos resultados do artigo de Tavares e Lamberts (2004)

Construção	Operação		EE Total	% EE Total / Energia Op.
	EE Reposição	Energia Op.		
220	147	907	367	40

3. AVALIAÇÃO

3.1 Consumo energético no setor residencial brasileiro

As considerações feitas neste trabalho dizem respeito a todas as formas de energia consumida no país. Assim para o setor residencial por exemplo contabiliza-se o número de Joules, unidade padrão do Sistema Internacional e referência dos principais artigos deste tema, relativos ao consumo de: eletricidade, gás natural, gás liquefeito de petróleo –GLP- , lenha, óleo combustível, querosene e carvão vegetal. As conversões destes insumos em energia são feitas pelos parâmetros estabelecidos no BEN (BRASIL, 2003).

A metodologia seguida parte da definição de que o valor informado no BEN, para os setores residencial, comercial e público diz respeito apenas ao consumo energético na vida útil das edificações, não considerando a energia despendida para a construção destas. Para tanto é necessário atribuir um consumo energético para uma edificação nova e para a manutenção e reformas de uma antiga. Estes dados são informados no trabalho de Tavares e Lamberts (2004) que investigou o consumo de energia, a partir de todas as fontes, no ciclo de vida de uma edificação residencial típica brasileira. Os resultados servem de base para mensurar o total de energia consumida no setor residencial brasileiro. A edificação estudada é definida dentro dos parâmetros de maior incidência para residências brasileiras em termos de área construída, número de cômodos, número de habitantes,

tipologia construtiva e posse de equipamentos (TAVARES, 2003). O modelo resultante é o de uma casa térrea descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Modelo de edificação típica brasileira

Características ocupacionais

Nº Habitantes	4 habitantes
Renda Familiar	Até 5 Salários Mínimos (US\$ 500,00 em 1/04/2005)
Consumo Energia Elétrica	150 kWh/mês ou 540 MJ
Consumo Energia p/ cocção	345 kWh/mês ou 1242 MJ (em média 694,8 de lenha, 478,8 de GLP, 36 de carvão vegetal. , 21,6 de gás natural e 10,8 de outros)
Equipamentos básicos	Aparelho de Som, Chuveiro Elétrico, Ferro de passar, Fogão, Geladeira, Liquidificador, Televisão, Ventilador/Circulador de Ar.

Características físicas

Dimensões	Área 63 m² Externas 9,00 x 7,00 m Área do terreno 98 m ²
Divisões internas	Pé direito 2,8 m, Sala 18 m ² , 2 Quartos 26 m ² , Cozinha 12 m ² , Banheiro 5 m ² , Circulação 2 m ² ,
Estrutura	Concreto armado
Paredes	Blocos de concreto (9 x 19 x 39),. 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, 1,4 x 1,4 m, vidros planos simples esp. 3mm.
Pisos	Banheiro e cozinha em cerâmica comum e demais cômodos em tacos de madeira.

A energia embutida inicial em toda a edificação é da ordem de 218 GJ. Este valor provém do cálculo da energia consumida na fabricação dos materiais de construção utilizados, no transporte destes até a obra, nas formas de energia despendidas diretamente na construção, além dos desperdícios correspondentes à técnica construtiva empregada. A energia embutida de reposição total é de 2,9 GJ.

Aplicados estes ao conjunto das edificações residenciais brasileiras, novas e existentes, divulgado pela PNAD, obtêm-se dados de energia embutida em edificações residenciais no Brasil. Somando-se estes resultados com os valores de consumo setorial divulgado no BEN, chamado de energia operacional, obtêm-se o total de energia consumida no setor residencial. A Tabela 3 apresenta a projeção setorial destes resultados.

Para encontrar o total de energia embutida em novas construções toma-se pela PNAD o número de 987.692 novos domicílios no País em 2002. Aplicando-se o valor de energia embutida de 218 GJ por edificação, pode-se projetar um total de $2,15 \times 10^8$ GJ consumidos. Isto corresponderia à parcela de 2,8% de toda a energia consumida, sob todas as formas, no Brasil neste ano.

Avaliando-se agora a energia embutida de reposição para o mesmo modelo de edificação como 2,90 GJ, pode-se estimar, sobre o total de 46.570.967 de domicílios existentes, o valor de $1,35 \times 10^8$ GJ; o que corresponde a 1,7% do total de consumo energético no Brasil em 2002. Assim conclui-se que somente com a energia embutida em edificações residenciais foram consumidos 4,5% de todos os insumos energéticos.

A título de comparação este é um índice equivalente ao consumo energético do setor agropecuário ou do que a soma dos setores comercial e público, segundo o BEN.

A partir deste também há condições de se estabelecer a relação de energia embutida e energia operacional nas edificações residenciais. Considere-se como energia operacional tudo o que é consumido por uma edificação após a sua construção, na condição de moradia. Estes valores são apurados anualmente pelo BEN, resultantes do consumo de todas as fontes de energia utilizadas como:

eletricidade, gás natural, gás liquefeito de petróleo –GLP- , lenha, óleo combustível, querosene e carvão vegetal.

Para o setor residencial, no ano de 2002, este índice foi de 11,5% de todos os insumos energéticos brasileiros. Assim a energia embutida nas edificações equivale a 40% da energia operacional do setor residencial.

Tabela 3: Consumo energético para construção, operação e manutenção de edificações residenciais no Brasil

Edificações residenciais brasileiras (Ano base 2002) :		
Novas	987.692	(PNAD 2002)
Existentes	46.570.967	(PNAD 2002)
Energia Embutida Inicial em uma edificação residencial média no Brasil	218 GJ	(TAVARES, LAMBERTS; 2004)
(1) Consumo energético total para a construção de novas edificações residenciais no Brasil	$2,15 \times 10^8$ GJ	
Energia embutida de reposição anual para uma edificação residencial média no Brasil	2,90 GJ	(TAVARES, LAMBERTS; 2004)
(2) Consumo energético total de Energia Embutida de reposição para edificações existentes	$1,35 \times 10^8$ GJ	
Total de Energia Embutida em edificações residenciais brasileiras (1) + (2)	$3,50 \times 10^8$ GJ	
(3) Energia consumida operacionalmente por edificações residenciais brasileiras	$8,75 \times 10^8$ GJ	(BEN 2003)
Total de energia consumida por edificações residenciais brasileiras (1) + (2) + (3)	$12,16 \times 10^8$ GJ	
Relação de Energia Embutida total e Energia operacional (1 +2) / (3)	0,4	

Estes resultados são compatíveis aos encontrados no trabalho de Tavares e Lamberts (2004), onde são calculados, para um ciclo de 50 anos de uma edificação residencial, um consumo operacional de 907 GJ e uma energia embutida total, inicial e de manutenção, de 367 GJ; o que corresponde a relação de 40% de energia embutida para a energia operacional.

3.2 Distribuição do consumo energético ao longo do ciclo de vida de uma edificação residencial típica:

O ciclo apresentado compõe-se de três partes na etapa pré-operacional: Fabricação de materiais de construção, transporte dos materiais e obra. Nesta última estariam contabilizados os insumos energéticos diretos como eletricidade, óleo diesel e outros necessários para funcionamento do maquinário utilizado. Porém os valores levantados são muito pequenos, da ordem de 0,27% da energia embutida inicial da edificação (TAVARES, LAMBERTS; 2004). Mais significativo nesta etapa é o desperdício de materiais de construção. Uma pesquisa realizada em âmbito nacional definiu parâmetros de desperdício por tipo de material (AGOPYAN, 1998). Aplicando-os proporcionalmente para todos os materiais utilizados na edificação em questão obtêm-se um índice geral de 25% de acréscimo energético sobre o total consumido na fabricação dos materiais.

Para os transportes foi definido um consumo básico, para transporte rodoviário, de 0,05 MJ/kg de material transportado (BRASIL, 1982; PEREIRA, 2004). Para o caso estudado este implicará em 5% sobre o total consumido para fabricação de todos os materiais de construção utilizados, inclusive os desperdiçados.

Na etapa operacional têm-se o consumo operacional propriamente dito, que é tudo aquilo consumido por uma edificação após a sua construção, na condição de moradia. Estes valores são apurados anualmente pelo BEN e divulgados como setor residencial. Estes são resultantes do consumo de eletricidade, gás natural, GLP, lenha e carvão vegetal.

Para energia de reposição são estimados os consumos com materiais de construção, e respectivos transportes e desperdícios, para manutenção e reformas em edificações existentes. A Tabela 4 informa a distribuição destas etapas, e respectivos consumos, ao longo do ciclo de vida das edificações residenciais.

Tabela 4: Distribuição do consumo energético residencial ao longo do ciclo de vida relacionado ao consumo total no Brasil

	Discriminação:	Consumo total no Brasil	%	Referência
	Consumo energético final de todas as fontes no Brasil	75,36 x 10 ⁸ GJ	100,00	(BEN 2004)
Construção	Fabricação de materiais para a construção de novas edificações residenciais no Brasil	1,66 x 10 ⁸ GJ	2,20	
	Transportes de materiais para a construção de novas edificações residenciais no Brasil	0,10 x 10 ⁸ GJ	0,13	
	Desperdício de materiais nas obras de novas edificações residenciais no Brasil	0,41 x 10 ⁸ GJ	0,55	
Operação	Consumo energético total de Energia Embutida de reposição para edificações existentes	1,35 x 10 ⁸ GJ	1,79	(TAVARES, LAMBERTS; 2004)
	Energia consumida operacionalmente por edificações residenciais brasileiras	8,75 x 10 ⁸ GJ	11,6	(BEN 2004)
	Total de energia consumida por edificações residenciais brasileiras (operação + construção)	12,25 x 10 ⁸ GJ	16,27	

4. CONCLUSÕES

Os resultados enfatizam que a energia embutida é relevante no ciclo de vida das edificações, não apenas na projeção de 50 anos, mas também na condição de momento.

Considere-se ainda que estes resultados não levaram em conta, por indisponibilidade de dados nacionais, a energia embutida em mobiliário e nos próprios equipamentos, o que é um padrão internacional para este tipo de análise.

A relevância deste tipo de estudo é incrementada pelo fato de que o consumo operacional energético, por unidade, das edificações residenciais vem caindo, enquanto o consumo específico de energia na fabricação dos principais materiais de construção materiais se mantém estáveis (BRASIL, 2003).

Sugere-se desta forma: a continuidade das pesquisas sobre o ciclo de vida energético das edificações em todos os setores da construção civil, distribuindo-se as prioridades nas etapas pré e pós operacional; melhor conhecimento dos insumos energéticos dos principais materiais de construção; concepção de alternativas para os sistemas construtivos tradicionais sob a ótica da Energia Embutida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio – Procedimento**. Rio de Janeiro. 1999.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, 32 (4), p. 317-320. Elsevier Science Ltd. 1997 (a).

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. **Building and Environment**, 32 (4), p. 321-329. Elsevier Science Ltd. 1997 (b).

ALCORN, J. **Embodied Energy Coefficients of Building Materials**. Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington. New Zealand, 1995.

BLANCHARD, S; REPPE, P. **Life cycle analysis of a residential home in Michigan - Report N° 1998-5**. University of Michigan. USA. Setembro, 1998.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. **Balanco Energético de Edificações Típicas**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC / MG. Brasília, 1982.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2003**. Brasília, 2003. ISS 0101-6636.

- 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.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Pesquisa de oferta de materiais de construção no Estado de São Paulo**. São Paulo.1982.
- LIPPIATT, B. Building for Environmental and Economic Sustainability. In: **CIB World Building Congress - Construction and The Environment. Proceedings**. 8 pp. Gävle, June 1998.
- MARLAND, G.; BODEN, T.A; ANDRES, R. J. **Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2003.
- 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. 205p. ISSN 0101-6822.
- TAVARES, S.F. **Metodologia para análise energética do ciclo de vida de blocos cerâmicos vermelhos**. Projeto de qualificação para doutoramento. PPGEC, UFSC. Florianópolis, abril de 2003.
- TAVARES, S. F.; LAMBERTS R. Estudos comparativos sobre consumo energético no ciclo de vida de edificações residenciais do Brasil, Austrália e Suécia. **Anais do X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído – ENTAC-, julho de 2004**. ANTAC, 2004.
- 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 – 435. Elsevier Science Ltd. 2002.
- TOLMASQUIM, M.T; SZKLO, A.S. (Coords.) **A matriz energética brasileira na virada do milênio**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; ENERGE, 2000. ISBN 85-285-0039-X.
- 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 MAY-JUN. Routledge, London. 2000.