



Índices de CO₂ para materiais de construção em edificações brasileiras

Sergio Fernando Tavares

Federal University of Paraná, Department of Architecture and Urbanism, Post Graduate in Civil Construction Engineering, Curitiba (PR), Brazil

sergio.tavares@ufpr.br, sergioft22@yahoo.com.br

Luís Bragança

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal

braganca@civil.uminho.pt

RESUMO: No Brasil apesar da emissão de gases de efeito estufa estar abaixo dos índices mundiais, o setor da construção civil apresenta padrões de emissão semelhantes a de países desenvolvidos. Neste sentido é importante o desenvolvimento de instrumentos de aferição destes impactos associados às edificações. Este artigo atualiza dados da emissão de dióxido de carbono embutido em materiais de construção e na matriz de geração de eletricidade brasileira, visando desenvolver uma ferramenta para o cálculo do CO₂ embutido em edificações. O método consiste em organizar planilhas que discriminam os insumos energéticos dos principais materiais de construção utilizados no Brasil a partir de levantamentos de dados primários no processo de fabricação. Os dados são levantados do Balanço Energético Nacional e em relatórios de ministérios e de federações de indústrias. As emissões de Carbono por uso de fontes combustíveis são adaptadas do IPCC 2006, atualizando a pesquisa de 1996. Ao final é proposta uma ferramenta que permite estimar, a partir do cálculo prévio da energia embutida, as emissões de dióxido de carbono na fase pré-operacional do ciclo de vida de uma edificação, no que tange ao uso de materiais de construção e energia elétrica. A partir dos novos índices encontrados neste trabalho procedeu-se uma atualização de uma pesquisa de 2008 que calculava o CO₂ embutido em uma edificação residencial típica brasileira. Os novos índices são superiores aos de 2008 principalmente pelo aumento da participação de combustíveis fósseis na matriz de geração termoelétrica brasileira e pela revisão de alguns processos produtivos dos materiais investigados.

Palavras chave CO₂ embutido, materiais de construção, edificações residenciais, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem emissões de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa abaixo da média mundial. Isto se dá por ter a maior parte de seu consumo de energia elétrica a partir de geração hidráulica, por utilizar combustíveis renováveis no setor de transportes como o etanol e o biodiesel, associada ainda à grande utilização de biomassa em outros setores da economia. Tal condição faz com que o país apresente uma taxa de emissão de CO₂, por utilização de fontes energéticas, de 1,56 tCO₂/tep contra 2,37 tCO₂/tep da média mundial (IEA, 2014).

Em que pese tal condição o setor da construção civil brasileiro apresenta índices de emissão semelhantes aos de países desenvolvidos (Tavares 2006; Monich 2010; Paulsen & Sposto 2013).

A preocupação sobre a avaliação de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das edificações, e a necessidade de informar os cidadãos sobre isto, já é presente em países como Austrália e Alemanha (Australian Government, 2016; Germany, 2016), citando alguns casos.

A literatura técnica apresenta parâmetros de sustentabilidade na construção civil definindo relações entre o consumo de energia e a geração de CO₂ nos processos de fabricação e uso dos materiais de construção (Jeong, 2012; Dias, 2004; Suzuki, 1995). A discriminação dos insumos energéticos em fontes específicas, e destas para a geração de CO₂ correspondente, são pontos importantes de interpretação em uma análise energética (Buchanan & Honey, 1994; Treloar 2001).

No Brasil as técnicas de análise de ciclo de vida carecem de ferramentas adequadas e também de dados atualizados para a composição dos inventários. Além destas condições o acesso de instrumentos para estas análises por parte de profissionais ou estudantes ligados a construção é restrito. Para tanto propõe-se o desenvolvimento de recursos que possam facilitar estas tarefas.

1.1 Objetivo

O trabalho visa apresentar uma ferramenta para estimar as emissões de dióxido de carbono na fase pré-operacional do ciclo de vida de edificações residenciais brasileiras com dados atualizados das emissões por fontes e da contribuição da energia elétrica por fontes fósseis. A proposta da ferramenta em questão atualiza o recurso utilizado por Tavares (2006).

2. MÉTODO

2.1 Discriminação dos insumos energéticos

São definidos inicialmente os insumos energéticos, discriminados por fontes, utilizados nos processos de fabricação dos principais materiais de construção utilizados no Brasil. Os critérios para a escolha destes materiais foram os seguintes:

- Materiais considerados como relevantes em relação ao conjunto dos insumos energéticos consumidos no país, segundo o BEN - Balanço Energético Nacional - (EPE, 2015);
- Materiais constantes regularmente nas composições de edificações típicas brasileiras, segundo os padrões da norma NBR 12721 (ABNT 2006) que define os critérios para o cálculo do Custo Unitário Básico da Construção, e por publicações especializadas em composições de orçamento como o TCPO – Tabelas para Composições de Preços e Orçamentos - da editora PINI (TCPO, 2010);
- Maior peso de participação em análises de energia embutida nas edificações típicas brasileiras (Tavares 2006; Tavares & Lamberts, 2008).

Na Tabela 1 são apresentados os materiais de construção estudados e seus respectivos insumos energéticos proporcionais por fontes em seus processos de fabricação.

Tabela 1: Insumos energéticos utilizados nos processos de fabricação dos materiais de construção (%)

FONTES	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS							RENOVÁVEIS				
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	OUTRAS
AÇO E FERRO	1	6					45	10	19			19
ALUMÍNIO	17	13						55				15
AREIA	25	15						30				30
ARGAMASSA ⁽¹⁾	30	10		10				30				20
CAL	10	20						15		55		
CERÂMICA REVEST.	15	60	10					15				
CERÂMICA VERM.	4	2	8					5		80		1
CIMENTO	1			70		2		13	3			11
COBRE	10	20				5		60				5
CONCRETO ⁽²⁾	25	15		10				30				20
FIBROCIMENTO ⁽⁶⁾	15			50				30				5
IMPERMEABILIZANT	5	30				3		30		2		30
MADEIRA ⁽³⁾	5	3	2					8		82		
PAPEL	2	7						15	2	15	45	14
PEDRA	30	10						30				30
PLÁSTICOS	20	20						30				30
TINTAS ⁽⁴⁾	5	20	5					70				
VIDRO	2	60	10					28				
OUTROS MATERIAIS	4	23	3		7			50	1	12		

Fonte: autoria própria, a partir de dados de: Balanço Energético Nacional 2015 (EPE, 2015); Anuário estatístico-Setor metalúrgico 2014 (Brasil, 2015); Inventory of Carbon and Energy, University of Bath (Hammond & Jones, 2011).

- 1) Traço 1 : 2 : 8 Cimento, Cal Hidratada, Areia
- 2) Percentual de cimento 12%
- 3) Madeira maciça para batentes e esquadrias
- 4) 1Kg de produto; rendimento médio 3,33 m² (duas demãos)
- 5) Segundo BEN 2015 (EPE, 2015)
- 6) Para 70% de cimento

Percebe-se pela distribuição dos insumos que a maioria destes são oriundos de fontes fósseis, o que reforça a necessidade de se estudar a influência dos materiais para as emissões de gases do efeito estufa no ciclo de vida da edificação.

2.2 Índices de CO₂ nos materiais de construção

Para definição dos índices de CO₂ nos materiais de construção são utilizados os índices de emissão de Carbono por fontes definidos no protocolo do IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change - (IPCC, 2006) para uso como combustíveis. Na comparação entre os relatórios de 2006 e de 1996 percebe-se que há pouca variação entre os índices. A principal diferença, de forma, é que há faixas de incerteza na versão de 2006 com uma informação média, a qual foi utilizada neste trabalho. Os relatórios citados informam a emissão de Carbono na conversão em energia. Para definição dos índices de Dióxido de Carbono (CO₂) é aplicado o fator de conversão 44/12 sobre os valores da emissão em Carbono, conforme o próprio relatório do IPCC (IPCC, 2006).

A partir das emissões de Carbono informadas pelo IPCC são selecionadas as fontes mais comuns utilizadas na fabricação dos materiais de construção típicos do Brasil. Assim, na Tabela 2 é informada a geração de CO₂, em quilograma por Giga Joule de energia utilizada por cada fonte.

Tabela 2: Geração de CO₂ por uso de fontes combustíveis

FONTE	CO ₂ (kg/GJ)
ELETRICIDADE ⁽¹⁾	42,2
PETRÓLEO	73,3
ÓLEO COMBUSTÍVEL	74,1
GASOLINA	69,3
QUEROSENE AVIAÇÃO	71,5
COQUE DE PETRÓLEO	97,5
GAS DE ALTO FORNO	260,0
GÁS NATURAL	56,1
GLP	63,1
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	73,3
COQUE DE CARVÃO MINERAL	107,0
CARVÃO MINERAL	94,6
CARVÃO VEGETAL ⁽²⁾	33,6
LENHA ⁽³⁾	56,0
LIXÍVIA	95,3
BIOMASSA SOLIDA GERAL	100,0
BIODIESEL	70,8
ALCOOL COMBUSTÍVEL	70,8
GAS DE ATERRO	54,6
OUTROS BIOGASES	54,6
OUTRAS FONTES PRIM. FÓSSEIS	73,3
OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS ⁽⁴⁾	100,0
OUTRAS ⁽⁵⁾	87,0

Fonte: própria, a partir de dados de IPCC (2006).

- 1) do autor, ver Tabela 3
- 2) considerando 70% renovável, seg. IBGE (2013)
- 3) considerando 50% renovável, seg. IBGE (2013)
- 4) considerar percentual específico de fonte renovável
- 5) do autor, a partir de dados do BEN 2015 (EPE, 2015)

Note-se que os índices dos itens de Energia Elétrica, Madeira e Carvão Vegetal são adaptados para a realidade brasileira.

Para o cálculo da contribuição de emissão de CO₂ na eletricidade levantou-se o mix da matriz termoeleétrica brasileira, com os respectivos percentuais de contribuição e índices

de eficiência, e aplicou-se a emissão específica para os combustíveis utilizados, conforme a Tabela 2. A Tabela 3 estima as emissões de CO₂ para a geração termoelétrica no Brasil.

Tabela 3: Geração de CO₂ na geração termoelétrica no Brasil

TERMOELETRICIDADE	MATRIZ BRASILEIRA (%)	EFICIÊNCIA	FATOR	%	kg CO ₂ /GJ (Fontes)	kg CO ₂ /GJ (Eletricidade)
Carvão	3,2	0,2	5	16	94,6	15,14
Óleo	6,9	0,3	3,3	23	74,1	16,87
Gás Natural	13,0	0,7	1,4	18	56,1	10,21
						42,22

Fonte: Própria a partir de valores de (EPE, 2015) e (IPCC, 2006)

Nota-se um considerável aumento em relação à avaliação feita por Tavares (2006) (18,1 contra 42,2 kg CO₂ /GJ desta pesquisa), o que se explica pelo fato de aumentarem as participações de combustíveis fósseis no mix de geração termoelétrica (EPE, 2015).

Outras parcelas de emissões consideradas são aquelas oriundas de reações químicas no processo produtivo além da queima de combustível. A partir dos relatórios de emissões de gases de efeito estufa do Ministério da Indústria e Comércio (Brasil, 2013) e dos relatórios de emissões de gases do efeito estufa nos processos industriais do Ministério da Ciência e Tecnologia (Brasil, 2010), foram consideradas as emissões adicionais do Cimento, Cal e Alumínio. Os índices do Concreto, Argamassa e Fibrocimento são definidos a partir dos percentuais de cimento utilizado. Todas estas parcelas adicionais estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Geração de CO₂ nos processos de fabricação

MATERIAL	kg CO ₂ /kg
ALUMÍNIO	1,65
CAL	0,76
CIMENTO ⁽¹⁾	0,37
CONCRETO ⁽²⁾	0,05
ARGAMASSA ⁽³⁾	0,21
FIBROCIMENTO ⁽⁴⁾	0,26

Fonte: Própria a partir de Brasil (2010a); Brasil (2010b);Brasil (2013); IPCC (2006).

1)Percentual de clínquer 75%

2)Percentual de cimento 12%

3)Traço 1 : 2 : 8 Cimento, Cal Hidratada, Areia

4)Para 70% de cimento

3. RESULTADOS

3.1 Planilha para cálculo de CO₂ embutido

Para cálculo das emissões geradas na fase pré operacional do ciclo de vida da edificação foi concebida uma planilha que associa a energia embutida em cada material e as emissões correspondentes de CO₂ no processo de fabricação de cada material. Os valores de EE no processo de fabricação dos materiais analisados são obtidos da tese de Tavares (2006).

A Tabela 5 apresenta o modelo resumido da planilha básica para cálculo de emissões de CO₂. Na primeira linha são marcados os índices de emissões de CO₂ por uso combustível conforme tabela 2. Nas linhas seguintes são discriminados os materiais de construção como listados na Tabela 3. Nas colunas são listadas as fontes energéticas utilizadas, sendo que junto aos materiais informa-se o total de energia embutida por kilo de cada material.

Na penúltima coluna as parcelas adicionais por emissões no processo de fabricação, quando houver, além da queima de combustíveis. Em cada cruzamento de linha e coluna se assinala o percentual de cada fonte energética utilizada como combustível no processo de fabricação do referido material, conforme os índices da Tabela 1 e calcula-se a parcela de emissão específica daquele combustível. Na última coluna informa-se o total do respectivo material analisado.

Tabela 5: Geração de CO₂ nos materiais de construção típicos do Brasil

MATERIAIS	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM.	RENOVÁVEIS OUTRAS	CO ₂ processo	CO ₂ /kg de MATERIAL
CO ₂ (kg/GJ) (Cf Tabela 2)	74,1	56,1	63,1	97,5	73,3	94,6	107	42,2	33,6	56	100	80		
AÇO E FERRO (% por fontes) (cf. Tab.1)	1	6					45	10	19				19	
CO ₂ /kg (EE (35,0 MJ)/kg)* x % fonte)	0,03	0,12	0	0	0	0	1,69	0,15	0,22	0	0	0,53		2,73

* (Energia Embutida de cada material segundo Tavares (2006))

A Tabela 6 resume os resultados da aplicação da planilha para cálculo das emissões de CO₂, resumida na Tabela 5, apresentando os valores de emissões de Dióxido de Carbono por kg de material de construção utilizado. São informados associadamente os valores de Energia Embutida por material.

Tabela 6: Índices de EE e CO₂ embutido nos materiais de construção típicos brasileiros

MATERIAIS	EE (MJ/kg)	kgCO ₂ / kg
AÇO E FERRO	35,0	2,73
ALUMÍNIO	155,0	10,19
AREIA	0,5	0,03
ARGAMASSA ⁽¹⁾	2,1	0,34
CAL	3,0	0,87
CERÂMICA REVEST.	3,0	0,29
CERÂMICA VERM.	5,0	0,17
CHAPA DE COMPENSADO	8,0	0,41
CIMENTO	4,5	0,79
COBRE	75,0	3,95
CONCRETO ⁽²⁾	1,2	0,12
FIBROCIMENTO ⁽³⁾	6,0	0,72
IMPERMEABILIZANTES	90,0	5,50
MADEIRA ⁽⁴⁾	2,0	0,11
PAPEL	20,0	1,54
PEDRA	1,5	0,10
PLÁSTICOS	80,0	5,02
TINTAS ⁽⁵⁾	75,0	3,57
VIDRO	18,5	0,99
OUTROS MATERIAIS ⁽⁶⁾	50,0	2,58

1) Traço 1 : 2 : 8 Cimento, Cal Hidratada, Areia
2) Percentual de cimento 12%
3) Para 70% de cimento
4) Madeira maciça para batentes e esquadrias
5) 1Kg de produto; rendimento médio 3,33 m² (duas demãos)
6) Segundo BEN 2015 (EPE, 2015)

3.2 Aplicação da planilha

No artigo de Tavares e Lamberts (2008) é calculada a emissão de CO₂ na fase pré-operacional de uma edificação de natureza empírica baseada na realidade construtiva brasileira. Sua definição baseia-se na norma NBR 12721 da ABNT (ABNT, 2006), dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD - realizada pelo IBGE (PNAD, 2005) e do Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo – SINPHA – (SINPHA, 1999), realizado pela Eletrobrás, PROCEL e PUC/RJ.

O modelo analisado é o de uma residência típica brasileira com 63 m², estrutura em concreto armado, paredes de alvenaria simples com blocos cerâmicos e cobertura com telhas de fibrocimento. Os padrões de acabamento são compatíveis com o modelo R1-B descrito na Norma ABNT NBR 12721 (ABNT, 2005).

A Tabela 7 apresenta os resultados de EE e CO₂ embutidos nesta edificação comparando os dados originais do artigo de Tavares e Lamberts (2008) com os fatores de CO₂ revisados.

Tabela 7: Resultados de EE e CO₂ embutidos em uma edificação típica brasileira

MATERIAIS	kg (material da edificação)	kgCO ₂ (2008)	kgCO ₂ / kg material (2016)	kgCO ₂ (2016)
Cimento	9511,59	7134	0,79	7514
Cerâmica vermelha	22875,79	6293	0,29	6634
Aço e Ferro	1190,32	3070	2,73	3250
Concreto	11305,81	1650	0,12	1357
Tintas	263,88	1438	3,57	942
Pedra	34704,19	1008	0,1	3470
Areia	56323,70	935	0,03	1690
Cal	1175,94	893	0,87	1023
Fibrocimento	1045,98	499	0,72	753
Plásticos	60,70	358	5,02	305
Cerâmica Revest.	596,00	221	0,17	101
Outros materiais	187,00	736	2,58	482
TOTAL CO₂		24235		27521
TOTAL CO₂/m²		382		437

O resultado total aplicado sobre a área da edificação analisada resulta em 437 kg de CO₂ por metro quadrado, dado superior ao da pesquisa de 2008. Os resultados gerais mostram que o valor total de CO₂ sobe principalmente pelo aumento de emissões do mix da geração termoeétrica da eletricidade brasileira. Alguns materiais tiveram revisões no seu processo produtivo, o que acarretou algum incremento de fontes mais intensas em combustíveis fósseis, como pedra e areia. Nos valores de CO₂ das tintas são consideradas três demãos no trabalho de 2008 e duas demãos no de 2016.

3.3 Comparação de índices de CO₂ embutido com outras edificações estrangeiras

A revisão do índice de CO₂ embutido aproxima ainda mais e eventualmente supera as médias encontradas para as edificações estrangeiras. A tabela 8 apresenta alguns índices encontrados na literatura técnica e compara com o índice encontrado neste trabalho.

Tabla 8: Resultados de EE e CO₂ embutido (pré-operacional) em edificações residenciais

Resultados	N. Zelândia(1)	Japão(2)	Dinamarca(3)	Brasil (4)
tCO ₂ /m ²	0,35	0,40	0,40	0,43
GJ/m ²	5,60	4,50	4,50	4,46

1) (Buchanan & Honey, 1994)

2) (Suzuky & Oka, 1995)

3) (Suzuky & Oka, 1995) citando (Pedersen, 1993)

4) Resultado desta pesquisa

Outra comparação pode ser atribuída com o trabalho de Luo (2011) que analisou 78 prédios comerciais na China e encontrou um valor médio de 326 kg CO₂ /m².

4. CONCLUSÕES

O modelo de planilha para a estimativa do CO₂ embutido em edificações desenvolvido contribui para facilitar as análises de ciclo de vida em edificações, notadamente na fase pré-operacional.

Na revisão dos valores de CO₂ embutido a principal diferença de emissões por fonte se dá na eletricidade, que teve seu mix alterado pela maior participação de combustíveis fósseis para a geração termoelétrica.

A reavaliação dos valores de CO₂ embutido na edificação típica brasileira, a partir da nova ferramenta proposta com os valores revisados, confirmam que o CO₂ embutido nas edificações brasileiras na fase pré operacional é similar ao de edificações estrangeiras, apesar da matriz de emissões gerais do Brasil ser mais baixa que a média mundial. Isto se explica em parte pelo fato de que as técnicas construtivas e os materiais de construção empregados na construção civil brasileira geram grande quantidade de resíduos, em parte pelo fato de que os processos de fabricação dos principais materiais utilizados sejam semelhantes aos de outros países desenvolvidos com uso prioritário de fontes fósseis.

Os resultados, a partir dos instrumentos desenvolvidos e dos valores obtidos na avaliação da edificação típica, apontam para a necessidade da avaliação destes impactos em outras fases do ciclo de vida. Na fase operacional o uso dos materiais de reposição podem elevar os índices de CO₂ incorporado em todo o ciclo de vida, principalmente com a participação de materiais de alto CO₂ inicial incorporado e de baixa durabilidade, como tintas e outros materiais de acabamento. Na fase pós operacional a perspectiva do uso de materiais com possibilidades de reuso ou reciclagem podem ser relevantes para o cálculo do CO₂ embutido total e devem portanto ser estudadas.

REFERÊNCIAS

- 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.2005
- Australian Government, *Department of Environment*. <https://www.environment.gov.au/climate-change/greenhouse-gas-measurement>. Acessado em maio de 2016.
- Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. *Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - produção de metais, Alumínio. Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa - Relatórios de referência*. Elaborado por: Ingrid Person Rocha e Pinho. Colaboração: Associação Brasileira de Alumínio – ABAL. Brasília, 2010a.
- Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima.

- Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - produtos minerais, Parte I. Produção de cimento.* Elaborado por: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa - Relatórios de referência. Brasília, 2010b.
- Brasil - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.* Brasília, 2013.
- Brasil, Ministério da Indústria e Comércio. *Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2014, ano base 2013.* Disponível em <http://www.mme.gov.br/sgm/menupublicacoes.html>. Acessado em Maio de 2015.
- Buchanan, A. H.; Honey B. G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, Volume 20, Issue 3, Pages 205–217. 1994.
- Dias, W.P.S.; Pooliyadda, S.P. Quality based energy contents and carbon coefficients for building materials: A systems approach. *Energy*, Volume 29, Issue 4, Pages 561–580, March 2004.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil) -. *Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014.* Rio de Janeiro, 2015.
- Germany, *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.*
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/monitoring-prozess.html> e
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/klimaschutz,did=338368.html>. Acessado em maio de 2016
- Hammond G.; Jones C. *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 1.6a* . Sustainable Energy Research Team (SERT) Department of Mechanical Engineering University of Bath, UK. 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da Extração Vegetal e Silvicultura.* Rio de Janeiro, v. 28, p.1-69, 2013. ISSN 0103-8435
- IEA – International Energy Agency. *Key world energy statistics 2014.* International Energy Agency, Paris, France. 2014.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting Instructions.* Acessado em 05/2016 <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>. Geneva, Switzerland.1996.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. ISBN 4-88788-032-4 (2006).
- Jeong, Y.S.; Lee, S.E.; Huh, J.H. Estimation of CO₂ emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea. *Energy and Buildings*, Volume 49, Pages 437–442, June 2012.
- Luo, Z.; Yang, L.; Liu, J. Embodied carbon emissions of office building: A case study of China's 78 office buildings. *Building and Environment*, 95. p 365e371 (2016).
- Manfredini C.; Sattler, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. *Ambiente Construído*, v. 5, n. 1, p. 23-37, jan./mar. 2005. ISSN 1415-8876 © Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre. 2005.
- Monich, C. R.; Tavares S. F. Energia e CO₂ embutidos na fabricação dos materiais de construção: panorama atual no Brasil e exterior. In: 13o *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela, RS. Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2010.
- Paulsen, J. S.; Sposto, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. *Energy and Buildings*, Volume 57, Pages 95–102, February 2013.
- PNAD. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2013.* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em Maio de 2016
- Santi, A.M.M. *Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior pólo produtor de cimento do País, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais e propostas para a Segurança Química.* Tese [Doutorado]. Planejamento de Sistemas Energéticos. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP Campinas, SP. (2003).
- SINPHA. *Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo.* PROCEL / ELETROBRÁS. Núcleo de Estatística Computacional, PUC/Rio. Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM.
- Suzuki, M.; Oka, T.; Okada, K. The estimation of energy consumption and CO₂ emission due to housing construction in Japan. *Energy and Buildings* 22, p. 165-169 (1995).
- Tavares, S.F. *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.* Tese de doutorado. PPGEC - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. UFSC – Universidade

Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril de 2006.

Tavares, S. F.; Lamberts, R. CO₂ embutido em edificações residências brasileiras. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12., 2008, Fortaleza. Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2008.

TCPO, *Tabelas de composição de Preços para Orçamentos*. Editora PINI. São Paulo, 2010.

Treloar, G.; Fay, R.; Ilozor, B.; Love, P. Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities. *Facilities*, v.19, n.3/4., p. 139 – 149. 2001.

Uhlig, A. *Lenha e Carvão Vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para estimação do consumo*. Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, EP / FEA / IEE / IF. São Paulo, 2008.