



AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS TIPOLOGIAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA USO RESIDENCIAL: PARTE 1

TABORIANSKI, Vanessa M. (1); PRADO, Racine T. A. (2)

(1) Pesquisadora Mestranda, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Av. Professor Almeida Prado, travessa 2, 83 - Cidade Universitária, São Paulo - SP 05508-900,
e-mail: vanessa.montoro@poli.usp.br.

(2) Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Av. Professor Almeida Prado, travessa 2, 83 - Cidade Universitária, São Paulo - SP 05508-900.
e-mail: racine.prado@poli.usp.br.

RESUMO

Os aquecedores de água trouxeram, ao mundo contemporâneo, o conforto do banho quente para grande parte da população. Podemos ter aquecedores elétricos, a gás ou solares. Os aquecedores elétricos necessitam da energia elétrica fornecida por usinas termelétricas, hidrelétricas ou nucleares destacando-se, no Brasil, as hidrelétricas devido ao potencial hidráulico de seus rios. Os aquecedores a gás utilizam combustíveis fósseis que produzem poluentes como os óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis e material particulado. Os aquecedores solares utilizam a energia limpa do sol. Entretanto, muitas vezes, estes aparelhos também utilizam recursos não renováveis na sua fabricação. Este trabalho tem por objetivo avaliar comparativamente o impacto ambiental do aquecimento de água através de aquecedores elétricos, solares e a gás. Este impacto ambiental será estudado através da Análise do Ciclo de Vida, ou em inglês: Life Cycle Analysis (LCA), dos materiais e equipamentos utilizados nestas formas de aquecimento. Neste estudo será considerado, também, o impacto ambiental produzido para a geração de energia elétrica para o uso dos aquecedores elétricos e o impacto dos resíduos que a queima dos energéticos utilizados lançam na atmosfera.

Palavras-chave: Água quente, impacto ambiental, aquecedor de água

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial trouxe, ao mundo contemporâneo, novas máquinas que substituíram muitos trabalhos manuais. Junto com essas máquinas surgiram, no decorrer dos anos, aparelhos e equipamentos que melhoraram a qualidade de vida da sociedade. Entretanto, essa nova tecnologia necessitava de alguma forma de energia para seu funcionamento e, desse modo, os combustíveis fósseis e a energia elétrica foram os energéticos escolhidos para tal finalidade. Como consequência, essa nova perspectiva fez com que o consumo energético crescesse exponencialmente. Segundo MARTINS (1999) “No último século o homem médio consumiu mais energia do que em toda a história da humanidade”. Além disso, FILIPPÍN (2000) diz que os processos de construção e operação dos edifícios foram responsáveis por um terço do consumo total de energia em 1992; 26% desta quantidade eram devidos à queima de combustíveis fósseis.

Grande parte desse consumo energético se concentra nos países desenvolvidos, onde se têm os maiores índices de industrialização e uma população com os melhores padrões de conforto e realização material. Por outro lado, os países em desenvolvimento almejam os padrões sociais existentes no primeiro mundo. Conforme MARTINS (1999) “se esses países (em desenvolvimento) seguirem o mesmo caminho dos chamados desenvolvidos, para atingirem os índices de bem estar

social, o planeta não suportaria o impacto do aumento do consumo de energia e emissões”. A tabela 1 mostra a taxa de emissão de dióxido de carbono em algumas localidades.

Tabela 1: Indicadores de emissão de CO₂ – Ano de referência: 1997 (MME, 2000)

Especificação	Brasil	EUA	Japão	América Latina	Mundo
TCO ₂ */hab	1,8	20,5	9,3	2,2	4,0
TCO ₂ /tep** de Oferta Interna de Energia	1,8	2,5	2,3	2,0	2,4
TCO ₂ /10 ³ US\$ (85) de PIB	0,52	0,83	0,35	0,77	0,9
TCO ₂ /km ² de superfície	35	595	3107	48	113

*TCO₂ = tonelada de dióxido de carbono

**tep = tonelada equivalente de petróleo (1MWh = 0,29 tep).

Como se vê, o aumento do consumo de energia tende a ser uma grande fonte de preocupação mundial não só pelo esgotamento das fontes não-renováveis, mas também pelo crescimento da emissão de poluentes no meio ambiente. Segundo FLAVIN (1990) “os sistemas de geração de energia são responsáveis por mais da metade do efeito estufa, liberando não somente 21 bilhões de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera anualmente como também substanciais quantidades de dois outros importantes gases de efeito estufa, o metano e o óxido de nitrogênio. O carbono contido nos combustíveis fósseis fornece quase quatro quintos da energia mundial e seu uso contínuo cresce 3% anualmente”.

Diante desses fatos, surgiram graves problemas ambientais ocasionados pelo excesso de poluentes emitidos pelas atividades humanas. O efeito estufa, a chuva ácida, o buraco na camada de ozônio e a poluição das fontes de água doce são alguns desses problemas, dentre os quais o mais importante é o aquecimento global devido à falta de uma política ambiental que reúna todos os países.

Segundo LYMAN (1990) “o aquecimento da Terra pode causar sérios distúrbios no clima, alterando os padrões de chuva e neve, modificando as estações do ano e possibilitando mudanças nas correntes de ar e do oceano, o que provocaria tempestades mais intensas e frequentes. O derretimento do gelo polar e a expansão da temperatura poderiam provocar, ainda, a elevação do nível dos mares bastante para inundar terras litorâneas”.

Atualmente, a indústria da construção civil também tem se preocupado com as questões ambientais. A qualidade ambiental de um edifício pode ser entendida como as características de sua construção, seus equipamentos (produtos e serviços) e seu ambiente próximo. Segundo OLIVE *et al* (1997) “isto permite satisfazer as necessidades humanas, proteger o ambiente externo e criar um ambiente interno satisfatório”. Tais necessidades envolvem:

- reduzir o uso de recursos ambientais;
- reduzir a poluição do ar, da água e do solo;
- reduzir a poluição sonora e outros distúrbios;
- integrar satisfatoriamente o edifício ao seu local de construção, e
- garantir condições internas saudáveis e confortáveis de moradia.

Sendo assim, para que um edifício seja considerado ecologicamente correto é essencial que sejam avaliados os impactos ambientais de todas as suas partes constituintes. Sob este aspecto, a Análise do Ciclo de Vida (LCA) é uma ferramenta importante na avaliação das edificações.

Diversas metodologias podem ser utilizadas para se analisar o ciclo de vida de produtos e serviços. O simples estudo de um processo já traz melhorias para a análise do mesmo e o seu impacto no meio ambiente. Entretanto, para uma análise complexa de um sistema é necessário o uso de ferramentas computacionais, que auxiliam na realização do estudo. Embora disponíveis no mercado, MARTINS (1999) observa que essas ferramentas não fornecem dados precisos quando utilizados no Brasil, já que as bases de dados que eles utilizam foram criadas tendo como referência a realidade do país de origem.

2. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS

A geração de água quente consiste no processo de transferência de calor a partir de uma fonte energética para obtenção de água a uma dada temperatura, podendo haver reservação do volume a ser aquecido ou não (ILHA *et al*, 1996).

Os sistemas de aquecimento de água não se limitam somente ao aquecedor, compõem-se também das tubulações, dos registros, das válvulas e dos acessórios. Desse modo, a análise do ciclo de vida para estes sistemas é mais complexa pois envolve vários equipamentos com diversos tipos de materiais.

Para este estudo foram utilizados o chuveiro elétrico, o aquecedor a gás de passagem e o aquecedor solar.

O chuveiro elétrico é um pequeno aparelho revestido de material metálico ou de plástico. Dentro do chuveiro tem-se uma resistência elétrica que é ligada automaticamente pelo próprio fluxo de água. O usuário pode alterar a temperatura do jato de água por meio de uma chave situada no topo do chuveiro que, dependendo do modelo, possui várias posições, as quais regulam a resistência do mesmo.

Para o aquecimento a gás, utilizou-se um aquecedor instantâneo, onde a água aumenta sua temperatura, por condução, à medida que passa pela serpentina de cobre, sem requerer acumulação.

Para o aquecimento solar, utilizaram-se coletores planos em que a radiação é captada nas horas de insolação, convertida em calor e transferida para a água, sendo esta armazenada para utilização, quando necessário. Em situação decorrente de vários dias sem insolação ou com insolação insuficiente recorre-se a um aquecedor auxiliar que utiliza energia elétrica para suprir eventuais necessidades. Essa energia auxiliar é composta por uma resistência localizada no interior do tanque de armazenamento da água quente. Neste caso, utilizou-se um sistema de reservação contendo um boiler cilíndrico de aço inoxidável.

3. METODOLOGIA

Primeiramente, analisaram-se os materiais e a energia empregados na extração, produção e transformação dos equipamentos envolvidos no aquecimento de água. Entretanto, decidiu-se considerar, como insumo, somente a energia elétrica gasta no ciclo de vida.

Para a realização desse estudo foi necessário escolher um modelo de habitação para analisar as alternativas de sistemas de aquecimento de água. Consultou-se a CDHU – Companhia de Desenvolvimento da Habitação Urbana - que é uma empresa pública responsável pela construção de habitações populares do Estado de São Paulo e decidiu-se por uma tipologia oferecida por esta companhia. Escolheu-se uma habitação térrea formada por dois quartos, um banheiro, sala e cozinha.

A avaliação da quantidade de energia gasta, em cada sistema de aquecimento de água, para estas etapas, foi realizada de duas maneiras. Primeiramente, contactou-se as empresas fabricantes de cada objeto para que elas fornecessem a massa de cada material constituinte do mesmo. A seguir, desmontaram-se os objetos que não tiveram sua massa informada pelas empresas e pesaram-se seus materiais constituintes. Dando continuidade à pesquisa, serão contabilizadas as quantidades de matéria prima de cada sistema de aquecimento de água.

O impacto ambiental de tais equipamentos será analisado por meio da quantidade de poluentes que contribuem para o efeito estufa emitida pelas usinas produtoras de eletricidade para as diversas etapas do ciclo de vida.

3.1 Análise do ciclo de vida dos sistemas de aquecimento de água

A análise do ciclo de vida (LCA) é uma metodologia utilizada na avaliação dos efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa ferramenta surgiu na década de 60 voltada, inicialmente, para produtos industriais com tempo de vida de semanas ou meses e tem sido adaptada para a indústria da construção. Segundo MARTINS (1999) a análise de ciclo de vida é composta de quatro partes:

- definição de objetivos e escopo;
- inventário de ciclo de vida;

- análise de impactos, e
- análise de melhorias

Devido ao tempo disponível para conclusão deste trabalho, serão analisadas somente as três primeiras partes da análise do ciclo de vida.

3.1.1. Definição de objetivos e escopo

O objetivo deste trabalho é estudar o aquecimento global, já que, entre os problemas ambientais atuais, este é um dos mais graves.

O produto esperado deste estudo é que sejam criadas políticas efetivas de preservação do meio ambiente, pelas autoridades nacionais.

O fluxograma inicialmente proposto contendo as entradas e saídas do ciclo de vida, para os sistemas de aquecimento de água, é mostrado na figura 1.

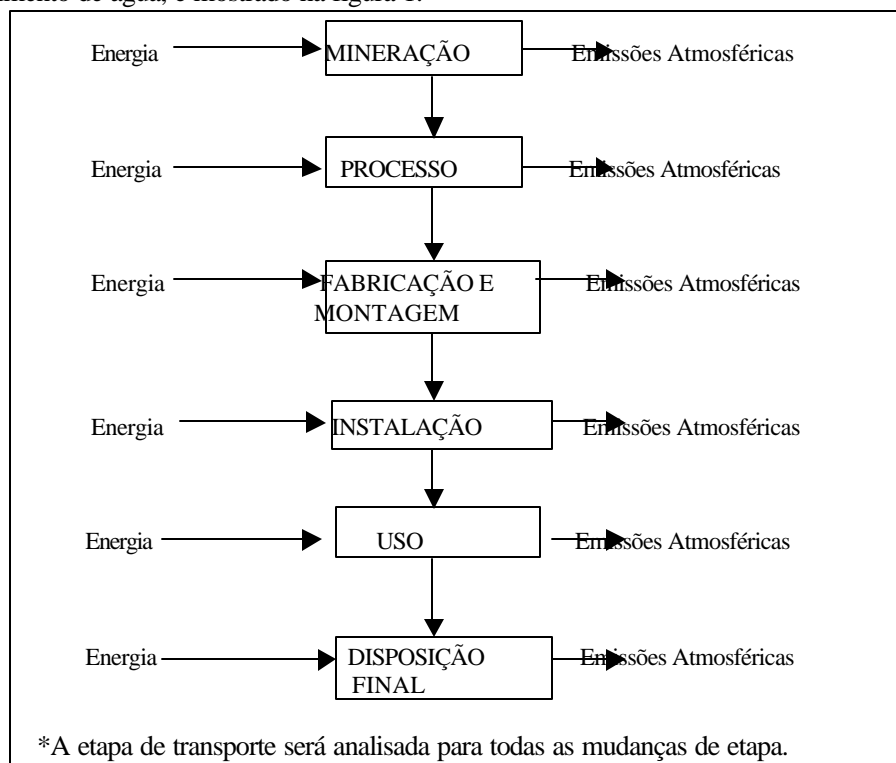


Figura 1: Fluxograma do ciclo de vida dos sistemas de aquecimento de água

3.1.2. Inventário de ciclo de vida

Nesta fase será avaliada a quantidade de poluentes, que contribui para o aumento do efeito estufa, emitida pelas usinas geradoras de energia elétrica. A seguir são apresentadas as etapas para o cálculo do potencial de aquecimento global produzido pelos sistemas de aquecimento de água.

Etapas 1 – Cálculo da energia final consumida por cada sistema

A energia final consumida foi quantificada para cada tipologia de aquecimento de água em cada fase do ciclo de vida. Para isso, adotaram-se os valores indicados em BERMANN (1991) e calculou-se a quantidade de energia elétrica gasta na produção dos materiais constituintes de cada sistema de aquecimento de água.

Por sua vez, a energia elétrica brasileira é essencialmente de origem hidráulica. Mais de três quartos são gerados por este tipo de usina. O restante divide-se em termelétricas a carvão, a gás natural, a derivados de petróleo (óleo combustível) e usina nuclear. O gráfico 1 mostra a porcentagem de energia elétrica gerada no Brasil.

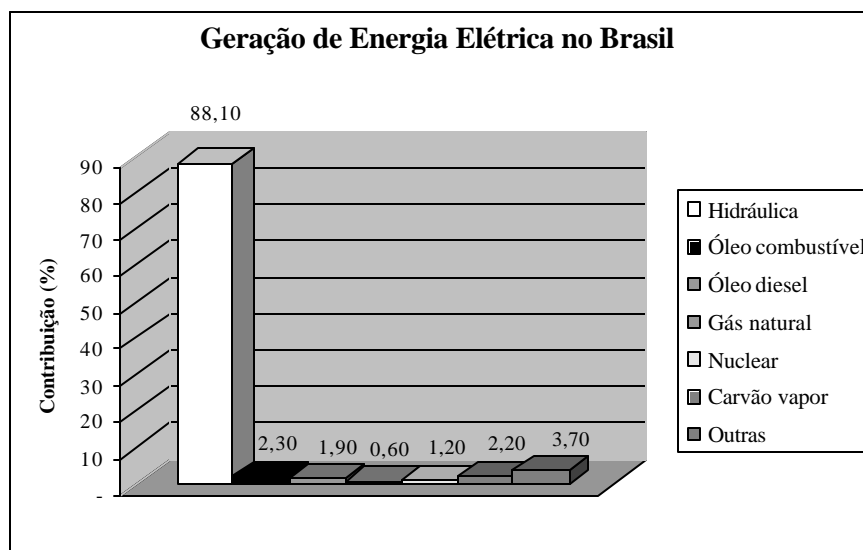


Gráfico 1: Geração de energia elétrica no Brasil, em % (baseado em MME, 2000)

Etapa 2 – Cálculo das emissões de poluentes

Nesta etapa serão calculadas as emissões dos principais gases causadores do efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

Segundo ROSA *et al* (1998) as emissões de gases de efeito estufa podem ser divididas em dois grupos, no caso de geração de energia elétrica:

1. O CO_2 emitido na queima de combustíveis fósseis principalmente na operação de usinas termelétricas e o CH_4 emitido por escape na exploração, armazenamento e transporte do gás natural;
2. Na alteração do uso do solo, no caso do enchimento de reservatórios das usinas hidrelétricas em regiões florestadas, sob a forma de CO_2 e CH_4 .

Foi necessário definir uma metodologia diferente para estudar a emissão fornecida na geração de energia elétrica por hidrelétricas e por termelétricas.

Para uma usina hidrelétrica, primeiramente definiu-se a relação entre a área alagada para construção dos reservatórios e a capacidade de geração de energia da maioria das usinas brasileiras. A relação média obtida foi de $0,416 \text{ km}^2/\text{MW}$. Esse dado permitiu saber qual a quantidade de terras alagadas para fornecer a energia elétrica necessária em cada fase do ciclo de vida.

Entretanto, MARTINS (1999) observa que “no caso de geração de energia elétrica, na maioria dos países é difícil saber exatamente de onde ela vem, já que em um sistema em rede, todas as geradoras estão interligadas e em alguns casos fica difícil de se determinar se a energia elétrica com a qual se está trabalhando é proveniente de uma termelétrica a carvão ou de uma hidroelétrica”. Diante desse fato, foi necessário considerar a contribuição de cada tipo de fonte de energia, mostrada no gráfico 1, para a contabilização da energia gasta em cada sistema.

Definiu-se, então, que para hidrelétricas serão contabilizadas a quantidade de carbono não capturada pelo alagamento de áreas de florestas e as emissões de CO_2 e CH_4 pelos reservatórios.

No caso de usinas termelétricas serão considerados como energéticos o carvão, o gás natural e os derivados de petróleo. Para efeito de contribuição na parcela de energia elétrica produzida será utilizada, também, a porcentagem de eletricidade fornecida pelos diversos tipos de termelétricas, na matriz energética brasileira.

As usinas nucleares, apesar de produzirem rejeitos radioativos que afetam o meio ambiente, não emitem substâncias que contribuem para o aquecimento global. Sendo assim, tais usinas não serão estudadas neste trabalho.

3.1.3. Análise de impactos

Na análise de impactos será possível quantificar a poluição, gerada em todas as fases do ciclo de vida de cada sistema, que contribui para o aquecimento global, por meio do cálculo do indicador de efeito estufa, após a análise das entradas e saídas.

O indicador de aquecimento global de cada sistema de aquecimento de água será dado através da seguinte equação:

$$I_{EE} = \sum_{i=CO_2, CH_4, N_2O} F_{PAGi} . m_i \quad (1)$$

onde:

I_{EE} : indicador de efeito estufa (kg equivalente de CO_2);

m_i : massa do gás (kg)

F_{PAGi} : Fator potencial de aquecimento global, dado a partir da tabela 2.

Tabela 2: Fator de equivalência para o efeito estufa global (IPCC, 2001)

Fórmula	Substância	F_{PAG}
CO_2	Dióxido de carbono	1
CH_4	Metano	23
N_2O	Óxido nitroso	296

4. RESULTADOS OBTIDOS

Para definir-se a quantidade de carbono não absorvido pelas áreas alagadas para formação dos reservatórios das hidrelétricas serão utilizados os dados encontrados em GRACE *et al* (1995) segundo o qual cada km^2 de florestas tropicais primitivas destruídas deixam de capturar 100 toneladas de carbono por ano¹.

ROSA *et al* (1998) estudaram as emissões de gases de efeito estufa derivados de sete hidrelétricas localizadas em diferentes regiões do Brasil. Na contabilização das emissões de dióxido de carbono e metano pelos reservatórios serão utilizados os dados, baseados neste estudo, para a usina hidrelétrica de Barra Bonita, localizada no Estado de São Paulo, pois se considera que a habitação modelo situa-se neste mesmo Estado. A tabela 3 mostra esses parâmetros.

Tabela 3: Valores médios de emissões de gases de efeito estufa (ROSA *et al*, 1998)

Usina	Emissão de metano (bolhas) $mg\ CH_4\ m^{-2}\ d^{-1}$	Emissão de metano (difusão) $mg\ CH_4\ m^{-2}\ d^{-1}$	Emissão de dióxido de carbono (difusão) $mg\ CO_2\ m^{-2}\ d^{-1}$	Vegetação primitiva	Idade do reservatório (anos)
Barra Bonitas	11	30	17.500	Mata atlântica	36

Observa-se que diversos fatores influenciam na emissão de gases de efeito estufa pelos reservatórios tais como tipo de vegetação afogada, idade do reservatório, desmatamento prévio antes do enchimento, etc, sendo que as taxas de emissão de gases podem ser bastante diferenciadas para outras hidrelétricas.

Para o cálculo da quantidade de CO_2 emitida por usinas termelétricas serão considerados os seguintes dados:

- 1 kWh de energia elétrica produzida por termelétrica a carvão, em ciclo vapor, gera 0,360 kg de carbono, CENBIO (2000);
- 1 kWh de energia elétrica gerada por termelétrica a gás natural, em ciclo combinado, produz 0,110 kg de carbono, CENBIO (2000);

¹ Nos vegetais o carbono é transformado em carboidrato e incorporado em sua biomassa. Desse modo, florestas jovens capturam mais carbono do que florestas antigas. Para florestas tropicais em crescimento, FLAVIN (1990) utiliza o valor de 550 toneladas de carbono por ano.

- 1 kWh de energia elétrica produzida por termelétrica movida a óleo combustível, em ciclo vapor, gera 0,238 kg de carbono, CENBIO (2000); e
- 1 kg de carbono produz 3,67 kg de dióxido de carbono, segundo a secretaria executiva da Petrobrás².

As emissões de CH₄ obtidas, por escape, na exploração, armazenamento e transporte do gás natural são chamadas de emissões fugitivas de metano. No entanto, não se consideram as emissões fugitivas na fase de exploração e produção. Supõe-se que todo o CH₄ que não é reinjetado ou utilizado comercialmente é queimado no "flare"³, e desta forma se torna CO₂. Assim, para efeito de cálculo, considera-se que as emissões fugitivas acontecem no transporte, através de pequenos vazamentos nas juntas existentes nas tubulações e seus componentes. Eventualmente, esses vazamentos podem ocorrer por acidente ou por operações de manutenção ou manobra no sistema de transporte e distribuição. Para efeito de cálculo das perdas de gás, na transmissão e distribuição, será utilizado o valor de 4,7%, fornecido pela CEG, concessionária de serviço público de distribuição de gás canalizado no Rio de Janeiro, para o ano de 1999.

6. CONCLUSÃO

A maior parte da energia elétrica brasileira é gerada por usinas hidrelétricas. Sendo assim, as principais fontes de contribuição de CO₂, no país, são o carbono que deixa de ser capturado pelas árvores após o alagamento de áreas verdes para a construção dos reservatórios das hidrelétricas e as emissões de CO₂ e de CH₄ devido ao enchimento desses reservatórios.

Apesar do menor uso de termelétricas no Brasil, será importante o estudo desses tipos de usinas de geração de energia elétrica, pois esses poderão ser os tipos mais utilizados futuramente, em função da rapidez de construção e da falta de locação de novas hidrelétricas perto dos grandes centros urbanos.

Espera-se que este estudo possa contribuir significativamente para a criação de políticas efetivas de preservação do meio ambiente, pelas autoridades nacionais e pelas empresas fabricantes de materiais e componentes para a indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERMMAN, C. **Os limites dos aproveitamentos energéticos para fins elétricos: uma análise política da questão energética e de suas repercussões sócio-ambientais no Brasil**. 1991. 296 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas.

FILIPPÍN, C. Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. **Building and Environment**, july, p.407-414, 2000.

FLAVIN, C. **Slowing global warming: a worldwide strategy**. Washington, D.C., USA, 94 p., Worldwatch Institute, (Worldwatch paper 91), 1990.

GRACE, J et al. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. **Science**, vol. 270, p. 778-780, 1995.

ILHA, M.S.O., GONÇALVES, M.O., KAVASSAKI, Y. **Sistemas prediais de água quente**. São Paulo, EPUSP, 1996. (Texto Técnico. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/09).

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical summary of the Working Group I report. Disponível em: <http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WGI-TS.pdf>. Acesso em 15.10.2001.

LYMAN, F. **The greenhouse trap: what we're doing to the atmosphere and how we can slow global warming**. Boston, USA, 190 p, 1990.

² Comunicação via correio eletrônico.

³ O "flare" é um dispositivo constantemente aceso que queima gás quando ocorre algum problema durante a produção da refinaria.

MARTINS, O.S. **Análises de ciclos de vida como contribuição à gestão ambiental de processos produtivos e empreendimentos energéticos.** 1999. 155 f. Dissertação de Mestrado – Programa Interinidade de Pós-Graduação em Energia (IEE, EP, IF, FEA), Universidade de São Paulo, São Paulo.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Balanço Energético 2000: banco de dados. Disponível em <http://www.mme.gov.br/sem/dadhist/tsinop_p.htm>. Acesso em 20.04.2001.

OLIVE, G.; DUCHENE-MARULLAZ, P.; LAVILLE, B. **About the definition of environmental quality of buildings.** In: Buildings and the Environment, 2., Paris, 1997. Proceedings. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, v.2, p. 41-47, 1997.

PRADO, R. T.A., GONÇALVES, O.M. Water heating through electric shower and energy demand. **Energy and Building** n.29, p. 77-82, 1998.

ROSA, L. P. et al. **Emissões de gases de efeito estufa derivados de reservatório hidrelétricos.** Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/methid.htm>. Acesso em 18.06.2001.