

# **INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DE HABITAÇÃO EM MADEIRA DE REFLORESTAMENTO**

**BARBOSA, Juliana C. (1); INO, Akemi (2); SHIMBO, Ioshiaqui (3)**

(1) doutoranda EESC-USP – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (jucortez@sc.usp.br)

(2) profa. EESC-USP / SAP - Depto. Arquitetura e Urbanismo (inoakemi@linkway.com.br)

(3) prof. UFSCar / DECiv – Depto. de Engenharia Civil (shimbo@power.ufscar.br)

## **RESUMO**

Atualmente a indústria da construção, grande consumidora de recursos (material/energia), e altamente poluidora (resíduos/emissão CO<sub>2</sub>), necessita de estudos, visando à redução da poluição e de energia nas várias etapas do processo de produção. É necessário, repensar os processos tecnológicos, com menor impacto ao ambiente, maior aproveitamento dos insumos (menor produção de resíduos e consumo energético) e minimizar a utilização de recursos naturais cada vez mais escassos.

Neste panorama, a utilização da madeira de reflorestamento pode ser mais uma alternativa para o desenvolvimento de tecnologia mais adequada na produção habitacional, visando um modelo de produção que utilize recurso renovável e que possibilite diminuir os problemas de desemprego e moradia, com geração de trabalho e renda em regiões com disponibilidade de madeira de reflorestamento e serrarias.

Este trabalho objetiva estabelecer indicadores de sustentabilidade na cadeia produtiva de habitação em madeira, baseando-se no método “LCA – Life Cycle Analysis”, que avalia diferentes aspectos em cada etapa do processo: floresta; processamento; pré-fabricação de componentes; montagem e uso/manutenção. Possibilita verificar ainda lacunas na própria cadeia produtiva da madeira e ainda estabelecer comparação entre sistemas construtivos utilizando outros materiais.

## **ABSTRACT**

Nowadays, the building industry, is considered a major consumer of material and energy resources in urban centres, and also a considerable pollution generator (solid waste and CO<sub>2</sub> emissions). It certainly needs a reformulation aiming pollution prevention and production systems improvement. Therefore, it is essential to consider cleaner and more efficient technological processes, in other words to decrease environmental impact through a better use of resources (less waste production and energy consumption), minimising scarce resources utilisation.

From this point of view, the use of wood from reforestations is an important way to achieve clearer technology development in housing production. It would be a model of production which makes use of a renewable resource, with solutions for unemployment and lack of houses, minimising, with this regional development model, rural-to-urban migration and urban concentration problems.

This paper intends to present sustainable indicators in the productive cycle of wood housing, by analysing from the cutting stage, processing, prefabricated components up to use and maintenance of house based on the LCA method – Life Cycle Analysis. It will be also possible to detect gaps in the wood productive cycle itself and establish comparisons between constructive systems in wood and another conventional ones.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho vem ao encontro da atual conjuntura de estado de degradação que se encontra o meio ambiente, principalmente nos centros urbanos, onde a qualidade de vida dependerá de mudanças de atitude dos profissionais, das comunidades e sobretudo das autoridades administrativas.

Vários estudos demonstram que, atualmente, grandes impactos ambientais, são provocados pela expansão rápida e desordenada dos centros urbanos, aliados à deficiência nas políticas governamentais integradas e aos critérios para o gerenciamento das questões ambientais.

Segundo SMA (1998a), as principais atividades minerárias são da classe II destinada à construção civil (areia, argila e brita), causando graves problemas principalmente às várzeas de rios, mananciais, fauna e flora; o assoreamento entre outros.

Outro fator agravante à degradação do ambiente, causados pela indústria da construção civil, são os entulhos. Apesar de serem considerados inofensivos, esses lixos representam enormes quantidades de material, tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento.

PEARSON (1996) afirma que em relação ao consumo de energia a indústria da construção civil, representa altos gastos para a fabricação dos materiais utilizados no processo de produção e no transporte, além do alto consumo energético no uso dos edifícios. A iluminação natural pouco aproveitada nos edifícios. Aumenta ainda gastos energéticos com iluminação artificial, sistemas de aquecimento e refrigeração dos ambientes, o que poderia ser vislumbrado para maior economia, a maior eficiência em projetos e o uso de fontes geradoras de energia menos agressivas ao meio ambiente.

Dentro deste panorama, é necessário um estudo sobre materiais de construção que cause menor impacto ao meio ambiente, reduzindo o uso de energia fóssil nos diversos setores da construção civil, procurando ao mesmo tempo alternativas que utilizem recursos energéticos não esgotáveis como a biomassa, energia solar, hídrica e eólica.

Um dos caminhos que pode ser visualizado é o incentivo ao uso de materiais a base de fontes renováveis, um deles a **madeira de reflorestamento**, que em comparação com o aço e o concreto, representa uma alternativa mais viável do ponto de vista ambiental. A madeira é um importante exemplo de implantação de biotecnologias preventivas, ou seja, tecnologia que substitua materiais de alto impacto ambiental (MOREIRA, 1999).

A madeira ainda desempenha um importante papel no estoque de carbono, e por requerer menor consumo energético em seu processamento, contribui para reduzir a emissão de gases que contribuem ao efeito estufa (CO<sub>2</sub>) - indicador importante para classificação dos materiais em relação ao impacto ao meio ambiente. Outro aspecto relevante é a possibilidade de reutilização ou reciclagem do material, no final do processo de produção ou mesmo em cada uma das etapas da cadeia produtiva, resultando na menor quantidade de resíduos sólidos produzidos.

## 2. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

A metodologia básica do presente trabalho será fundamentada no método LCA “Life Cycle Analysis” – análise do ciclo de vida em cada uma das etapas da cadeia de produção de habitação em madeira. Permite verificar a responsabilidade ambiental desde o início do processo de produção, ou seja, desde a extração do recurso até o uso, manutenção da edificação e disposição final dos materiais. O método LCA não só descreve a hora que o efeito ocorre, mas facilita a quantificação deste efeito, possibilitando atacar com maior exatidão o problema dentro do processo de produção.

De acordo CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), este método de análise dos impactos permite verificar direto e indiretamente a responsabilidade ambiental associada à produção, processamento e uso. Utilizando este método de análise foram comparados resultados a partir da simulação de três edifícios iguais de 4620m<sup>2</sup> com diferentes materiais: madeira, aço e concreto (três pavimentos e um subsolo de garagem), obedecendo ao Código Nacional de Edificações no Canadá. Na Tabela 01, Observa-se na construção de madeira melhor impacto em relação a todos fatores.

Tabela 01 – Comparação de três edifícios em madeira,aço e concreto

Material	Consumo Energia	Emissão de CO <sub>2</sub>	Poluição do Ar	Poluição da Água	Resíduos Sólidos	Impacto Ambiental
Madeira <sup>1</sup>	x	X	x	x	x	x
Aço <sup>2</sup>	2,4 x	1,45 x	1,42 x	120 x	1,36 x	1,16 x
Concreto <sup>3</sup>	1,7 x	1,81 x	1,67 x	1,9 x	1,96 x	1,97 x

Segundo RICHTER (1998), o LCA quando aplicado em materiais de construção demonstra que a madeira apresenta consideráveis benefícios ambientais. Estes aspectos positivos podem ser usados fortemente para a competitividade no uso deste material e derivados na construção. O método LCA coloca o foco no ponto de real importância, podendo ser utilizado para informar profissionais, construtores e autoridades administrativas públicas e privadas sobre qualidades ambientais no uso dos materiais.

Como exemplo do LCA, LAWSON ( ), afirma que cerca de 75% da energia consumida na produção de madeira serrada localiza-se na etapa de secagem. Já na fase de tratamento, a energia consumida chega a aproximadamente a 15%. Em muitos casos a energia pode ser gerada nas etapas de produção pelo próprio resíduo gerado da madeira.

Na fase de construção, comparando três edifícios em Melbourne, Austrália, MCARDLE citado por LAWSON ( ) afirma que a energia embutida foi basicamente distribuída em: assoalhos/forro (43-52%); paredes internas e externas (20-30%) e telhados (2-8%). Em um dos casos, as colunas foram responsáveis por mais de 20% da energia da construção.

## 3. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Os edifícios consomem grande quantidade de material e energia durante todo o processo de construção. Em cada uma das etapas envolvidas no processamento podem ser analisados diversos indicadores que sinalizam possíveis impactos ao meio ambiente, seja em nível global, local ou em relação aos próprios usuários. De acordo com vários autores podem ser citados alguns indicadores de sustentabilidade no processo produtivo,

<sup>1</sup> Piso e painéis de compensado; ossatura de madeira e estrutura principal em laminado colado.

<sup>2</sup> Piso e cobertura: aço galvanizado; piso de concreto com malha de aço; estrutura principal em aço.

<sup>3</sup> Piso e Cobertura: moldes in loco de placas em concreto; painéis pré-moldadas e estrutura em concreto

como: consumo de energia; produção de resíduos; emissão de substâncias nocivas ao meio ambiente (atmosfera, água e solo); consumo de recursos renováveis; uso de combustíveis fósseis; uso de recursos escassos; grau de reciclagem e reutilização dos materiais; durabilidade dos materiais ou da própria edificação; aproveitamento de recursos locais, assim como da cultura local, no sentido de contribuir para o desenvolvimento regional, entre outros.

No presente trabalho, em Estado da Arte, apresenta-se um estudo sobre alguns dos vários indicadores de sustentabilidade que caracterizam sérios aspectos de degradação ao Meio Ambiente. Dentro da cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento, os indicadores analisados foram: consumo de energia; emissão de CO<sub>2</sub> e produção de resíduos.

### 3.1. Consumo de energia

Na quantificação do consumo de energia nas construções, em geral, era considerado somente o **processo básico da produção** dos materiais e dos componentes construtivos e o **uso do edifício** (aquecimento, refrigeração e iluminação). Porém, em recentes pesquisas revela-se a importância de quantificar a energia embutida no material desde a extração, transformação da matéria-prima até o componente acabado, uso e demolição e dentro deste processo cíclico, classificar os materiais de menor gastos energéticos.

De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), a energia usada durante o tempo de vida de uma construção é um dos itens mais importantes para a análise do impacto ambiental neste setor. No Canadá, a energia usada para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação nos edifícios representam mais que 30% do consumo nacional. Por esta razão na escolha dos materiais de construção e na elaboração do projeto devem ser necessariamente considerado o consumo de energia, tanto para a fabricação quanto para a eficiência no uso da edificação.

De acordo com PRESCO (1999), em cidades européias, o consumo de energia nos setores residenciais também são relevantes, de acordo com pode-se dividir grosseiramente em setor residencial e de serviços (educação, recreação, saúde e outros) com 40%; industrial, 30% e setor de transporte, 30%.

Na Austrália as edificações são responsáveis por cerca de 25% de todo o consumo de energia no país, no Estados Unidos em torno de 40% e no Reino Unido cerca de 45%. (SZOKOLAY, 1997).

Atualmente as decisões no modo de produção deve considerar a energia embutida e o peso que representa para o meio ambiente. Para arquitetos e engenheiros, de acordo com o código alemão, devem ser consideradas também: planejamento urbano; *design*; funcionalidade; tecnologia; características físicas das construções; economia; gastos com energia e a ecologia da paisagem. Em relação a exigências no uso da energia, ela deve ser diferenciada em: eficiência do uso e o uso de energias renováveis. A madeira, no código alemão, foi classificada como um dos materiais de construção que satisfaz a todas estas exigências (VOLZ, 1998).

Segundo WINTER (1998), usando a madeira para construção economiza-se em duas etapas a quantidade de energia: uma na formação da matéria-prima que se faz através da absorção da energia solar (fotossíntese) e a outra com o consumo de energia necessária para a usinagem da madeira. Apresenta ainda vantagem em relação ao consumo de energia para o processamento e montagem da construção e sobretudo quanto ao aproveitamento de seus resíduos como energia calorífica.

De acordo com LAWSON ( ), o cálculo da taxa de energia embutida nos materiais, componentes e nas edificações em geral podem ser quantificada pela **Energia Global Requerida** (GER - *Gross Energy Requirement*) - energia consumida em todas as etapas da cadeia produtiva ou pela **Energia Requerida no Processamento** (PER - *Process Energy Requirement*). Neste caso, a energia é mais rapidamente calculada, produzindo mais firmes bases para comparação entre os materiais. Relata diretamente a manufatura do material ou componente, representando 50-80% do GER (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores obtidos pelo PER para materiais de construção.

Material	Energia Embutida	Material	Energia Embutida
Madeira mole seca em estufa	3,4 MJ/kg	Cimento	5,6 MJ/kg
Madeira dura seca em estufa	2,0 MJ/kg	Bloco de concreto	1,4 MJ/kg
Madeira dura seca ao ar livre	0,5 MJ/kg	Vidro	12,7 MJ/kg
Compensado	10,4 MJ/kg	Aço galvanizado	38,0 MJ/kg
PVC	80,0 MJ/kg	Alumínio	170,0 MJ/kg

Já SZOKOLAY (1997) classifica a energia consumida em dois níveis: a **energia principal** (C), que inclui o conteúdo energético dos materiais e componentes construtivos (Tabela 3) e a **energia operacional** (O), quantidade consumida anualmente para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação e serviços na edificação. O autor afirma inicialmente, que a relação em edificação de **C/O** era cerca de 5, ou seja, a energia principal equivaleria a 5 anos de energia operacional. Para uma habitação pobre na Austrália, esta relação era 2,5 anos. Recentes estudos produziram resultados de até 50 anos, pela melhoria dos materiais e da própria edificação, como isolamento térmico.

Tabela 3 – Conteúdo energético de alguns materiais de construção

<b>Materiais de baixa energia &lt;1</b>	Concreto	0,2 – 0,5	KWh/kg
	Madeira serrada	0,5 – 0,9	
<b>Materiais de baixa energia 1 – 10</b>	Tijolos cerâmicos	1,0 – 1,2	KWh/kg
	Telhas de fibro-cimento	2,1	
	Cimento	2,2	
<b>Materiais de baixa energia &gt; 10</b>	Aço galvanizado	10,5	KWh/kg
	Alumínio	46 – 56	
	PVC	80	

HOFER & RICHTER (1996) comparam o consumo de energia de diferentes materiais para produção de paredes externas (Figura 01).

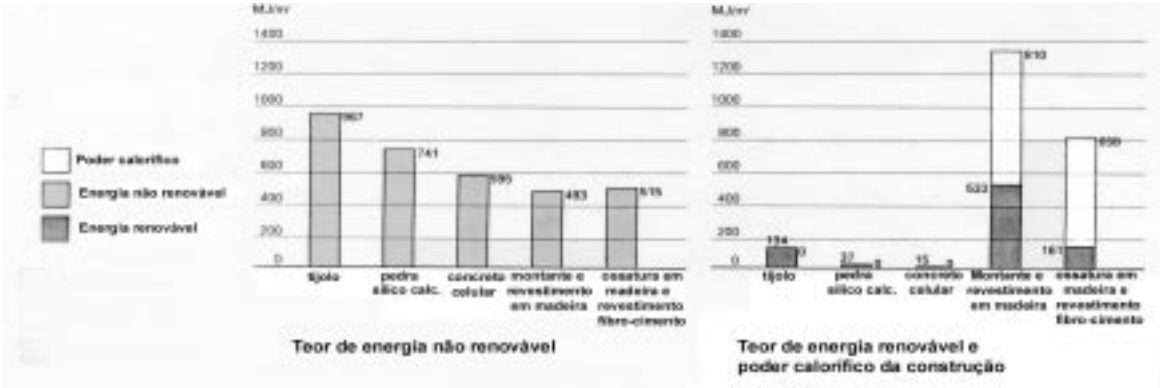


Figura 01 – Consumo de energia renovável e não renovável

LAWSON ( ) afirma ainda que a diferença da energia embutida entre uma casa de estrutura de madeira e uma de aço é da ordem de 35 a 50% , ou cerca de 120 000MJ. Na construção de 100 000 casas na Austrália, se fossem de estrutura de aço, haveria uma adição no consumo de energia de  $12 \times 10^9$  MJ e seriam liberados milhões de toneladas a mais de CO<sub>2</sub>. Esta energia adicional poderia abastecer o consumo de energia de 6500 casas por 50 anos.

### 3.2. Emissão de CO<sub>2</sub>

Como indicador de qualidade e de transformação do meio ambiente, pode-se considerar a emissão de gases como CO<sub>2</sub>, o principal responsável pelo efeito estufa e por grandes acidentes climáticos, principalmente devido a elevação da temperatura da terra.

Em cidades européias, as emissões de CO<sub>2</sub> pelo setor da construção civil são relevantes, segundo PRESCO (1999) atingem cerca de 30% das emissões totais.

Pode-se afirmar que do ponto de vista ecológico, as florestas, representam grandes ganhos para o meio ambiente. Uma das maneiras de se reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e ainda retirar da atmosfera o excedente já liberado, é plantando árvores. Para seu crescimento as árvores absorvem CO<sub>2</sub> do meio ambiente e fixam carbono para formação de matéria orgânica. A árvore é um agente de estocagem de carbono e este estoque pode ser prolongado utilizando a madeira como matéria-prima para construção.

- **Florestas manejadas** -  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + v \Rightarrow \text{madeira} + \text{O}_2$  (v energia luminosa),

De acordo com vários autores estima-se que para cada 1000 kg de CO<sub>2</sub> pode ser fabricado, de acordo com a espécie analisada, aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de madeira e a liberação de O<sub>2</sub> será de 500 kg.

No fim de seu ciclo de vida a madeira ainda pode ser utilizada para fins energéticos. Neste caso, é liberado CO<sub>2</sub> na mesma quantidade que o absorvido na fotossíntese, e exatamente na mesma proporção que na decomposição natural da árvore na floresta. Portanto, a matéria-prima – **Madeira**, é neutra do ponto de vista de emissão de CO<sub>2</sub>.

- **Floresta não utilizada** -  $\text{madeira} + \text{micro-organismos} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

A situação com maiores prejuízos ao ambiente é a floresta queimada sem nenhum aproveitamento da madeira e do poder calorífico, contribuindo para o aquecimento global da terra, degradando fauna, flora, recursos hídricos e a qualidade do ar.

- **Floresta queimada** -  $\text{madeira} + \text{fogo} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + E$  (energia calorífica)

Atualmente, através de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL ou CDM), a redução dos níveis de emissão do CO<sub>2</sub> ou a retirada desse gás por florestas representa, para os países menos desenvolvidos, grandes perspectivas econômicas, através de certificados em toneladas de CO<sub>2</sub>, cancelados por uma organização mundial para a “venda” de créditos pelo seqüestro do CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Segundo RICHTER (1998) a madeira além de contribuir para o Efeito Estufa com seqüestro de carbono quando é prolongado a vida útil do material na construção, tem a possibilidade de ser usada como combustível, substituindo o uso intensivo de combustíveis fósseis. HOFER & RICHTER (1996) estabeleceram comparações entre o uso da energia oriunda da madeira e o uso de óleo diesel, em relação a emissão de CO<sub>2</sub> e constataram que a madeira permanece neutra do ponto de vista de O excedente observado provem do combustível utilizado nos equipamentos de corte, picagem, do meio de transporte, etc (Figura 02).

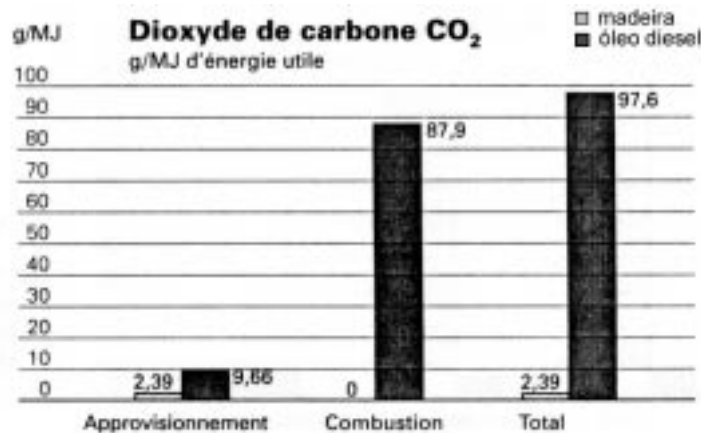


Figura 02 – Comparações entre o uso da energia da madeira e o uso de óleo diesel.

A madeira de reflorestamento representa inegavelmente aspectos que contribuem para o equilíbrio do meio ambiente, permitindo a proteção ao uso das florestas nativas, protege os solos, as nascentes e cursos d'água quando corretamente manejadas; contribui para o efeito estufa com retenção de  $\text{CO}_2$  da atmosfera; contribui para renda através de impostos; representa um produto competitivo na economia globalizada (BRANDÃO,1997).

### 3.3. Produção de resíduos

Outro importante indicador de sustentabilidade que influencia diretamente na classificação dos materiais em relação ao impacto ao meio ambiente, é a possibilidade de reutilização e reciclagem do material, no final do processo de produção e em cada uma das etapas da cadeia produtiva, resultando menor quantidade de resíduos sólidos produzidos.

LAWSON ( ) estima que na Europa somente 5% dos resíduos sólidos das construções são reciclados e que seriam possíveis de serem reciclados 75%. Afirma ainda que na Austrália cerca de 40% destes materiais já estão sendo reciclados de alguma forma.

De acordo com SMA (1998b), em estudos realizados na Comunidade Européia, o total de entulho de construção em países desenvolvidos atinge de 500 a 1000kg per capita, chegando a um total de 175 milhões de t/ano.

De acordo com SZOKOLAY (1997), os resíduos sólidos produzidos na demolição de edificações pode ser substancialmente reduzidos através da reciclagem. Muito pode ser feito no estágio do projeto para assegurar que pelo menos alguns materiais, componentes possam ser reciclados e reutilizados quando a edificação alcançar o término de sua vida útil.

De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), a manufatura dos produtos da madeira produz pouco resíduo em comparação a outros materiais (Tabela 01) e os mesmos (cascas, cavaco e pó-de-serra) podem facilmente ser reutilizados na produção de outros derivados da madeira: compensado, placas, MDF e outros (WEGENER & ZIMMER, 1998).

De acordo com o Desenvolvimento Sustentável e Tecnologias mais Limpas, o processo produtivo deve considerar o destino final do objeto produzido, desenvolvendo estratégias para facilitar a reciclagem e reutilização dos materiais com maior clareza aos benefícios ambientais.

## 4. Considerações finais

O LCA permite verificar em todos estágios da vida dos materiais, a relação do processo de produção com a degradação do meio Ambiente. Possibilita ainda estabelecer comparações entre diferentes materiais para construção.

Considerando os indicadores de sustentabilidade selecionados neste trabalho: consumo de energia, emissão de CO<sub>2</sub> e produção de resíduos, conclui-se que a madeira possui um potencial altamente favorável ao meio ambiente para utilização como material de construção, por representar um recurso renovável, não fóssil, de baixa demanda energética em seu processo de produção e com grandes possibilidades de aproveitamento do poder calorífico dos resíduos produzidos, além de ter um importante papel como medida estratégica na diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Incentivando seu plantio e uso para produção habitacional representa ainda, uma alternativa para solucionar problemas habitacionais, gerando trabalho e renda, promovendo maior desenvolvimento à região, reafirmando assim a madeira como um importante recurso rumo à concretização dos conceitos de sustentabilidade.

## 5. Bibliografia

- SMA (1998a) – Secretaria do Meio Ambiente, **Aspectos Ambientais Urbanos dos Municípios do Estado de São Paulo**, Seminário Internacional – Cidades Sustentáveis, Abr, 39p.
- BRANDÃO, Leopoldo Garcia (1997). **Desafio Florestal Brasileira** in: SBS - Silvicultura, Ano XVIII, n.73, Set./Dez 97, 23-29p.
- CANADIAN WOOD COUNCIL (1997). **Athena, un modèle informatique permet de comparer les effets des matériaux de construction sur l'environnement**, in: Wood le Bois, n. 19, 31p.
- HOFER, Peter & RICHTER, Klaus (1995). **Le bois, matériau écologique** in: Lignatec Les informations techniques bois de Lignum, Jan., Swizerland, Lausanne, 27p.
- LAWSON, Bill ( ). **Building Materials Energy and Environment – towards ecologically development**, University of New South Wales, Australia, 123p.
- MOREIRA, Carlos Alberto Filho (1999). **Biotecnologia e meio ambiente**, Ciclo de palestra – Fala USP. Desenvolvimento Sustentável, SP, USP, Jun.
- PEARSON, David (1996). **The natural house catalog, everything you need to create na environmentally friendly home**, 287p.
- PRESCO (1999). **Energy, Environmental and Sustainable Development** – European Thematic Network on Pratical Recommendations for Sustanaible Construction, EC 5<sup>th</sup> Framework Programme, 46p.
- SMA (1998) – **Secretaria do Meio Ambiente**. Proposta Política Estadual de Resíduos Sólidos in: Seminário Internacional Cidades Sustentáveis, Governo do Estado de São Paulo, Abr, 337p.
- RICHTER, Klaus (1998). **Carbon Dioxide Mitigation in Forestry and Wood Industry**, Ed. Springer, EMPA, Switzerland, 119 – 148p.
- SZOKOLAY, Steven (1997). **The Environmental Imperative**, Anais: PLEA – passive and Low Energy Architecture, Kushiro, Japão
- VOLZ, Michael (1998). **The ecological challenge in architecture and urban planning**. in: 5<sup>th</sup> World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerlnd, 649-645p.
- WEGENER, Gerd & ZIMMER, Bernhard (1998). **The ecological benefits of increased timber utilization**. in: 5<sup>th</sup> World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerlnd, 646-663p.
- WINTER, Wolfgang (1998). **Economical and ecological aspects os multistory timber building in Europe**. in: 5<sup>th</sup> World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerlnd, 664-668p.
-