



## **AS FLORESTAS E PRODUTOS MADEIREIROS COMO AGENTES MITIGADORES DOS EFEITOS DO AQUECIMENTO GLOBAL**

EPIPHANIO, Pedro Paulo Diniz<sup>1</sup>; ARAUJO, Handrey Borges<sup>1</sup>

**RESUMO** – (AS FLORESTAS E PRODUTOS MADEIREIROS COMO AGENTES MITIGADORES DOS EFEITOS DO AQUECIMENTO GLOBAL) O clima está mudando. A concentração do dióxido aumentou de 280 ppm nos períodos pré-industriais para aproximadamente 380 ppm. Este trabalho enfoca quanto o mundo está se aquecendo, quais as conseqüências disto e o potencial do setor florestal (i.é, florestas e indústria florestal, madeira e subprodutos madeireiros) como contribuinte significativo na mitigação dos efeitos prejudiciais dos gases estufa, reduzindo e ou removendo o CO<sub>2</sub> da atmosfera estabilizando suas concentrações. Há significativas poupanças de CO<sub>2</sub> que podem ser feitas pela utilização de madeira para a construção civil, através da energia incorporada e uso eficiente desta.

**Palavras-chave:** mudança climática, ciclo do carbono, mitigação, madeira, subprodutos madeireiros.

**ABSTRACT** – (FORESTS AND WOOD PRODUCTS AS AGENTS MITIGATING THE EFFECTS OF GLOBAL WARMING) The climate is changing. The concentration of carbon dioxide has increased from 280 ppm in pre-industrial times up to about 380 ppm today. This paper focuses on how much the world is warming, the consequences that come from this and the potential of forest sector (i.e., forestry and forest industry, wood and wood byproducts) as an important role in the global climate change contributing in a significant way to mitigation of harmful effects of greenhouse gases, reducing greenhouse gas emissions and or removal of CO<sub>2</sub> from the atmosphere with the aim of stabilizing CO<sub>2</sub> concentrations. There are significant CO<sub>2</sub> savings to be made by using timber in the construction of housing and other buildings, both in terms of embodied energy and in-use energy efficiency. Generally, the higher the timber content, the lower the embodied energy of the building.

**Key words:** climate change, carbon cycle, mitigation, wood, wood byproducts.

---

<sup>1</sup> Docente do Curso de Engenharia Florestal – Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal/FAEF, Garça, SP

## **1 INTRODUÇÃO**

As observações sobre as mudanças de temperatura em todo o globo terrestre não são estritamente monotônicas. Amplamente estudadas durante um período razoável de tempo, indicam alterações significativas no clima do planeta. Obviamente, os fatores que estão causando tudo isto precisam ser debatidos a exaustão para se chegar a conclusões claras e não simplistas. Há ainda um longo caminho a ser percorrido, mas algumas destas variáveis já têm sido identificadas, ainda que haja alguns que persistem em afirmar que as causas das alterações climáticas são externas ao planeta (MENNE, 2006).

Uma série de índices indicativos das mudanças climáticas deriva de dados de temperatura e precipitação diária, focalizando eventos extremos. Representando uma tendência global quanto a temperaturas extremas e índices de precipitação fora da média provocando um amplo debate revelando um quadro um tanto alarmante (HEGERL, 2007).

As projeções feitas quanto ao clima no futuro, sugerem que se não houver substancial mitigação, seguir-se-ão alterações muito maiores das que até aqui se

tem visto. Por isto, é necessário um despertar para as causas da alteração do clima e quais medidas devem ser tomadas para a mitigação destes efeitos (MET OFFICE'S HADLEY CENTRE FOR CLIMATE PREDICTION AND RESEARCH, 2003).

Portanto, objetiva-se neste trabalho analisar o potencial do setor florestal (i.é, florestas e indústria florestal, madeira e subprodutos madeireiros) como desenvolvedor de um importante papel nesta mudança, e sua contribuição na mitigação dos efeitos prejudiciais dos gases estufa, reduzindo e ou removendo o CO<sub>2</sub> da atmosfera, estabilizando suas concentrações.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 As causas do aquecimento global e as consequentes alterações climáticas**

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, (IPCC- The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007), concluiu em seu Terceiro Relatório de Avaliação (TAR -Third Assessment Report ), que as evidências observadas no último meio século quanto ao aumento generalizado de temperatura são

essencialmente devido às atividades humanas. Estas evidências agora disponíveis são mais fortes e estão baseadas em análises do aumento da temperatura do Sistema Climático e em outras variáveis do Clima (HEGERL *et al.* 2007).

### **2.1.1 Fatores que determinam o clima da terra**

O que identifica uma mudança climática são as estatísticas das mudanças das condições atmosféricas ao longo de um período de tempo. Embora as condições atmosféricas e o Clima estejam intimamente relacionados, existem importantes diferenças. Uma confusão comum entre condições atmosféricas e o clima se levanta quando cientistas são perguntados sobre como eles podem prever o clima daqui a 50 anos se eles não podem prever as condições do tempo daqui a poucas semanas. As condições caóticas do tempo fá-lo imprevisível além de poucos dias. Projetar mudanças no clima (i.e., no estado atmosférico a longo prazo) devido a composição da atmosfera ou a outros fatores é uma questão muito diferente e um assunto muito mais gerenciável (Le TREUT *et al.*, 2007).

Segundo Le Treut *et al.*,(2007), analogamente, embora seja impossível prever a idade em que um homem em particular morrerá, é possível dizer com confiança que a expectativa de vida dos homens nos países industrializados é de 75 anos. Portanto, considerar um inverno muito frio ou pequenos períodos de esfriamento no planeta não são evidências contra o aquecimento global. Existem sempre ocorrências extremas de calor e frio, embora suas frequências e intensidade mudem da mesma forma como mudam as condições atmosféricas. Mas quando se analisam as condições atmosféricas ao longo do espaço e tempo, é possível observar de fato que o planeta está se aquecendo.

O Dióxido de Carbono é o maior causador do agravamento do efeito estufa, pois sua concentração aumentou de valores em torno de 280 ppm encontrados no início da era pré-industrial para 379 ppm em 2005. A concentração em 2005 excede em muito àquela encontrada nos últimos 650.000 anos (180 to 300 ppm) como foram observados comparativamente, através dos valores determinados em núcleos dos gelos nos polos. A concentração de CO<sub>2</sub> cresceu a uma taxa muito superior entre 1995–2005, (média de 1.9 ppm por ano), desde que se começou

a fazer medidas atmosféricas diretas contínuas (1960–2005; média de: 1.4 ppm por ano) embora haja variabilidade nas taxas de crescimento (IPCC, 2007).

### **2.1.2 O Ciclo do Carbono e as Florestas**

As florestas em todo o mundo, tem tido um papel substancial no ciclo global do Carbono. O IPCC (2007a) mostrou que as últimas estimativas de captura terrestre para a década de 1993-2003 foram em torno de 3.300 MtCO<sub>2</sub>/ano, não considerando as emissões causadas pelas mudanças no uso do solo (DENMAN *et al.*, 2007). Uma parte crucial do ciclo do carbono está situada nas florestas. Estas trocam grandes quantidades de gases com a atmosfera e estocam carbono em várias formas, nas próprias árvores e nos solos. O carbono que está estocado nas plantas e solo é chamado de “carbono sequestrado”.

## **2.2 A contribuição do setor florestal na mitigação das mudanças climáticas**

Dentro do contexto das mudanças climáticas globais e o desenvolvimento sustentável, as atividades de manejo florestal exercem um importante papel na mitigação das mudanças climáticas. No entanto, as

florestas também são afetadas pelo clima e sua contribuição estratégica quanto a mitigação destas mudanças pode ser afetada possivelmente pelo estresse derivado desta mesma mudança.

Socioeconomicamente falando, as florestas, são globalmente importantes, pois muitos cidadãos dependem de seus bens e serviços. Dentro deste contexto, é que as opções de mitigação devem ser vistas (NABUURS, *et al.* 2007).

A opção de mitigação pela Floresta inclui a redução do desmatamento e da degradação de florestas, maximizando a taxa de seqüestro de CO<sub>2</sub> por florestas existentes e em novas, provendo Madeira como combustível em substituição aos combustíveis fósseis, e provendo produtos madeireiros em substituição de materiais que se utilizam de grande energia para ser produzidos.

## **2.3 O potencial das florestas e produtos madeireiros como contribuintes essenciais na redução dos GEE**

### **2.3.1 Armazenamento de Carbono para Redução dos GEE em florestas plantadas**

As florestas agem como armazenadoras de carbono, pois tomam do CO<sub>2</sub> atmosférico e transformam-no em

árvores, vegetação, raízes, serapilheira, palhas, e solos florestais. Ao se Remover as florestas por causa do chamado desenvolvimento, o carbono seqüestrado é liberado novamente para a atmosfera e reduz futuros seqüestros nas áreas afetadas (EASTERLING *et al.*, 2007).

O Protocolo de Quioto produziu muitos estudos com o fim de estimar o potencial de sequestro de carbono em florestas plantadas. O informe especial do IPCC sobre o uso do solo e mudanças no uso do solo e silvicultura (LULUCF-LAND USE, LAND-USE CHANGE AND FORESTRY), por exemplo, sugere que só considerando as florestas globais, há um potencial para seqüestrar um adicional de 87 Pg de C até 2050 (WATSON *et al.* 2000).

Medições feitas em todo o planeta quanto aocarbono armazenado pelas plantas (Produtividade Primária Líquida – NPP**Erro! Indicador não definido.**) durante a fotossíntese são importantes peças do quebra-cabeça das mudanças climáticas. É necessário saber quanto de CO<sub>2</sub> liberado pela queima de combustíveis fósseis a biosfera consegue absorver e quanto permanecerá ainda na atmosfera.

Estimativas de seqüestro de carbono usando dados de inventário em larga escala

tem se tornado importante devido a ligação entre a possível mudança climática e o acúmulo de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (HEGERL *et al.*, 2007).

Os reservatórios de Carbono nas florestas são geralmente descritos quanto a árvores vivas em pé, árvores mortas em pé, materiais lenhosos mortos e caídos no solo, serapilheira, e solo. Os materiais lenhosos armazenados no solo (detritos), essencialmente, consistem em fragmentos grosseiros e mais finos de madeira, folhas e tocos. Segundo o programa de Serviço Florestal dos EUA, Forest Inventory and Analysis (FIA), define-se como materiais lenhosos mortos e caídos aqueles com no mínimo 7,62cm de diâmetro. Fragmentos lenhosos, mortos e no solo, que apresentam diâmetro entre 0,01 e 7,61 cm (UNFCCC, 1993). Estima-se que representem em torno de 35% da Floresta.

#### 2.4 O potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> das florestas

Van Minnem *et al.* (2008) usaram como método para avaliação do potencial de seqüestro em plantações de Carbono, a implementação em áreas geográficas explícitas: parcelas de 0,5 ° de longitude x

0,5° de latitude. O horizonte analisado é de 2000 a 2100. Isto facilita a quantificação do potencial das plantações de carbono a longo prazo em diferentes regiões do mundo e a mitigação do CO<sub>2</sub> atmosférico. Foram distinguidos diferentes potenciais de acordo com as definições do IPCC (SATHAYE *et al.*, 2001).

Todo o armazenamento e fluxos das plantações de carbono (e.g. NET PRIMARY PRODUCTION – NPP\* and NET ECOSYSTEM PRODUCTIVITY – NEP) (Tabela 1), foram calculados levando em conta as condições ambientais (e.g. clima e

CO<sub>2</sub> atmosférico) e condições locais (e.g. solo).

\* Net primary productivity (NPP) produtividade primária líquida (PPL) é definida como o fluxo líquido de carbono da atmosfera para as plantas verdes por unidade de tempo. NPP refere-se a taxa líquida do processo, i.e., a quantidade de matéria vegetal produzida (net primary production) por dia, semana, ou ano. Contudo, os termos, *net primary productivity* e *net primary production* são algumas vezes usados independentemente e em intercâmbio, e alguns cientistas ainda tendem a confundir produtividade com biomassa permanente ou safra permanente. NPP é uma variável ecológica fundamental, não só porque mede a quantidade de energia que entra na biosfera e a assimilação de carbono terrestre, mas também por causa do seu significado, indicando a condição da área superficial do solo e o status da amplitude dos processos ecológicos.

**Tabela 1** - Componentes da Produtividade Primária Líquida

Componentes da PPL	
Componente	% PPL
Biomassa vegetal nova	40-70
Folhas e partes	10-30
Crescimento apical do tronco 0-10	0-10
Crescimento secundário do tronco	0-30
Raízes novas	30-40
Secreções radiculares	20-40
Exsudados radiculares	10-30
Transferências para	10-30
Perdas devido a herbivoria, mortalidade e fogo	01-40
Emissões de compostos voláteis	0-05

Fonte: EMBRAPA (Vasconcelos e Gonçalves)

#### 2.4.1 O potencial do sequestro físico

O ponto de partida é a distribuição potencial das florestas, as chamadas plantações de carbono ao redor do planeta.

Foram selecionadas seis espécies, dentre as 14 mais plantadas, para representar apropriadamente as diferentes zonas climáticas ao redor do planeta (Tabela 2).

Van Minnen *et al.* (2008) utilizaram para a quantificação, espécies chaves, as quais identificam grupos climáticos e as que são muito mais plantadas nas respectivas áreas. O Eucalipto (*Eucalyptus* spp.) para as regiões tropicais, o Abeto (*Picea abies*) para regiões frias e o Lariço (*Larix kaempferi*) para plantios em regiões boreais. A distribuição potencial neste contexto, refere-se a viabilidade e adequação do solo para plantio. Assume-se que o solo é viável quando não é destinado a área de proteção ambiental e não será utilizado para agricultura provendo um potencial mais realístico. A adequação do solo está dirigido pelas várias condições ambientais em termos de clima e solo. Estas condições precisam ser preenchidas para permitir um tipo específico de plantio em certa região. As características climáticas dos

reflorestamentos são derivadas da melhor combinação de Tipos Funcionais de Plantas (PFT) – espécies agrupadas de acordo com as características fisiológicas e a sensibilidade a mudanças na temperatura e disponibilidade de água (Tabela 2).

Em segundo lugar, de acordo com Van Minnen *et al.* (2008) os povoamentos florestais mais desenvolvidos fora destes seis tipos são determinados para cada parcela utilizando os parâmetros descrevendo a dinâmica do C (e.g. tempo de vida, fração de locação). Estes parâmetros dos diferentes tipo de povoamento florestal, são ligados aos parâmetros usados para o tipo de cobertura natural de solo que melhor se equipara com as espécies consideradas (Tabelas 2 e 3) (Van MINNEN *et al.* 2008; STRENGERS *et al.* 2008 ).

**Tabela 2** - Características climáticas das espécies selecionadas para as plantações de Carbono

No	Espécies	Correspondente PFT	T <sub>frio</sub> (°C)	Umidade <sup>2</sup>	GDD5 <sub>min</sub>
1	<b>Eucalyptus</b>	Árvores Tropicais decídua	>15.5	0.45 to 0.8	
2	<b>Eucalyptus grandis</b>	Árvores Tropicais perenifólia	>15.5	0.8 to 1.0	
3	<b>Pinus radiata</b>	Árvores Cl. Temperado decídua	>5	0.55 to 0.95	
4	<b>Populus nigra</b>	Árvores Cl. Temperado perenifólia	-15 to 15.5	0.65 to 1.0	1200
5	<b>Picea abies</b>	Floresta Boreal perenifólia	-35 to -2	0.75 to 1.0	350
6	<b>Larix kaempferi</b>	Floresta Boreal decídua	< 5	0.65 to 1.0	350

<sup>1</sup> T<sub>frio</sub> é a temperatura média no mês mais frio. <sup>2</sup> A umidade é expressa como a relação entre o real e o potencial de evapotranspiração (Cramer). A extremidade menor do alcance pode diminuir devido ao aumento do uso eficiente da água. É o resultado do aumento dos níveis CO<sub>2</sub> atmosférico. <sup>3</sup> GDD5<sub>min</sub> é o mínimo de radiação solar para o estabelecimento (considerando 5°C como base). FONTE: van Minnen *et al.* 2008

**Tabela 3** - As características de carbono das espécies arbóreas selecionadas para plantios de carbono

Nº Esp	Tipo de Cob. Solo Corresp. (lct)	IMA (m³ha⁻¹ ano⁻¹)	Rec. (ano)	Duraç. Rotaç. (ano)	HI² (-)	Dens Madeira (Mg DM/m³)	FNPP <sub>CP</sub> (Mg C/ha/ano)	AGF (-)	CF95 <sub>15</sub> (Eq.2)
1	Florestas Tropicais decídua	12 (3–20)	8	15	0.65	0.550	18.9	2.02	1.041
2	Florestas Tropicais perenifolia	20 (10–35)	8	15	0.70	0.425	22.2	1.77	1.042
3	Floresta Temperado decídua	14 (10–30)	15	28	0.87	0.450	11.0	1.62	1.045
4	Clima Temperado perenifolia	16 (8–28)	18	25	0.83	0.350	11.8	1.77	1.022
5	Boreal perenifolia	11 (4–20)	30	60	0.87	0.400	8.2	1.49	1.00
6	Boreal decídua	7 (4–12)	25	60	0.87	0.490	5.6	1.11	1.00

(Apud VanMinnen e outros. (2008). HI-Índice de Colheita Florestal; WD-Densidade da Madeira;

As taxas médias calculadas da Produção Primária Líquida sobre o maior período quanto ao tempo de rotação de cada espécie analisada são comparadas. A rotação de maior duração tem sido escolhida levando se em conta o período necessário para alcançar a máxima PPL para todos os tipos possíveis de povoamento.

Van Minnen *et al.*, (2006), definem que a última parte na determinação do potencial físico, é estimar o potencial de sequestro de Carbono líquido (CSeq) das espécies de melhor crescimento na parcela. Este cálculo introduzido por Onigkeit *et al.*, (2000), citado por Van Minnen *et al.* (2006), está fundamentado sobre o conceito de SPP (**Surplus Potential Productivity**), Potencial de Produtividade Excedente. A filosofia básica é somente considerar o Carbono

Líquido compreendido dentro do plantio. O cálculo é feito usando as emissões associadas com a conversão da cobertura natural do solo em um plantio e comparando o fluxo da produtividade líquida do ecossistema com o fluxo de produtividade líquida da vegetação natural a qual de outro modo cresceria na área. Como tal, **CSeq** determina o adicionamento comparado a situação de não ter plantios. Observe que um valor negativo de CSeq corresponde a uma absorção biosférica de Carbono da atmosfera (MNP, 2006);

Uma vez que o manejo pode ter um considerável efeito sobre o potencial de absorção de Carbono dos plantios, incluíram-se dois regimes de colheita (BENÍTEZ *et al.* 2006; PHAT *et al.*, 2004). Ou fazem-se as colheitas em intervalos

regulares ou não se colhe este plantio. Neste último caso, o plantio crescerá até um nível de estabilização no armazenamento de Carbono e posteriormente um baixo adicional de Carbono seqüestrado no tempo e no solo. No primeiro caso, o plantio é colhido no momento de máximo seqüestro de carbono, (i.e. o NEP médio de um plantio

quanto a idade da floresta começa a decrescer), seguido por novo crescimento. Nesta avaliação, a madeira colhida seja do tronco ou ramos é utilizada para atender a demanda por madeira. Folhas, raízes, ramos e partes não colhidas do tronco entram nos reservatórios de carbono na cobertura e no húmus do solo (Tabela 4).

**Tabela 4** - Potenciais físicos de distribuição dos plantios de Carbono (em Mha)

Cenários-Base	Alb Permanente			Alb Colheita			B2 Colheita		
	2030	2050	2100	2030	2050	2100	2030	2050	2100
<i>Eucalyptus</i>	545	620	965	621	700	997	514	533	701
<i>Eucalyptus grandis</i>	790	814	1310	1027	1039	1257	906	939	1157
<i>Pinus radiata</i>	20	25	33	20	25	33	22	30	38
<i>Populus nigra</i>	86	121	445	151	236	434	146	206	436
<i>Picea abies</i>	792	845	984	778	828	855	1047	1141	1254
<i>Larix kaempferi</i>	100	158	254	128	183	272	139	195	247
<b>Total Global</b>	<b>2333</b>	<b>2583</b>	<b>3992</b>	<b>2726</b>	<b>3011</b>	<b>3848</b>	<b>2774</b>	<b>3044</b>	<b>3833</b>

FONTE: Van MINNEN *et al.* (2006)

Tem-se na Figura 1, segundo Van Minnem *et al.* (2006), a dinâmica do Carbono em um plantio de *Pinus radiata* em área abandonada pela agricultura ou substituindo uma floresta natural. No caso do estabelecimento deste plantio em área abandonada pela agricultura, o **NPP** (PPL) de ambos, isto é, do plantio e da floresta natural, que de outra maneira cresceria na área – tem um incremento que varia de zero até o valor máximo dentro do período de recuperação predefinido. Se a resposta para as variações ou mudanças nos níveis de CO<sub>2</sub>

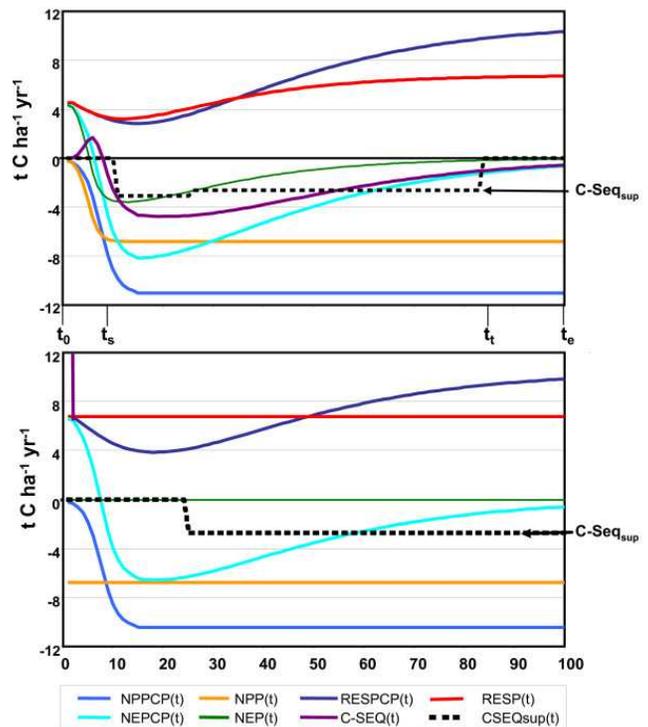
atmosférico e no clima são excluídos, os valores de NPP permanecerão constantes perto do valor máximo. A respiração do solo tanto do plantio como da floresta natural declinam inicialmente pois a quantidade de carbono que entra das árvores jovens é limitada, considerando ainda que a taxa de decomposição inicia-se em um nível muito mais alto de equilíbrio com respeito a vegetação prévia (neste caso agricultura). Após um período de declínio, o fluxo de respiração aumenta, uma vez que os reservatórios de carbono no solo sejam

preenchidos outra vez. Este fluxo aumenta até exceder o **NPP**. Se o Carbono Líquido compreendido pelo plantio de carbono [**NEP<sub>CP</sub>(t)**] é maior que o líquido da floresta natural [**NEP(t)**] (i.e. mais negativo), o plantio é efetivo na diminuição da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico. Isto é ilustrado pelos valores negativos de **CSeq**. Desde que é desconhecido antecipadamente quando um certo potencial é na verdade usado em um esforço de mitigação, calcula-se a média de seqüestro de carbono com relação aum período predefinido expressado como **CSeqsup**. Como tal, o **CSeqsup** em um intervalo de tempo (**t<sub>s</sub>**, **t<sub>t</sub>**) é uma aproximação da média de seqüestro de carbono líquido em um intervalo de tempo(**t<sub>0</sub>**,**t<sub>e</sub>**).

$$CSeq = b. E + \sum_{t=t_0}^{t=2100} [NEP(t) - NEP_{CP}(t)]$$

No caso do estabelecimento de um plantio de C sobre ecossistemas naturais cortados e queimados (Figura 1), grandes quantidades de carbono são emitidos instantaneamente (i.e. *E* será grande). Posteriormente, **CSeq** (t) no ano t iguala o **NEP<sub>CP</sub>** (t), assumindo nenhuma fertilização de CO<sub>2</sub> e outras respostas climáticas (tais

como, o **NEP** da vegetação natural é cerca de 0). Contudo, o ano em que o plantio se inicia para sequestrar carbono de fato é adiado porque as emissões iniciais precisam ser compensadas (cerca de 23 anos pelo exemplo da Figura 1).



**Figura 1** - Curvas de crescimento ilustrativas de um plantio de *Pinus radiata*: superior: plantio permanente em área abandonada pela agricultura; inferior – plantio permanente sobre área de floresta outrora florestada. Observe que números negativos representam sequestro de Carbono (t C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>). Posteriormente, as curvas assumem não haver fertilizações nem respostas climáticas. FONTE: Van MINNEN *et al.* (2008).

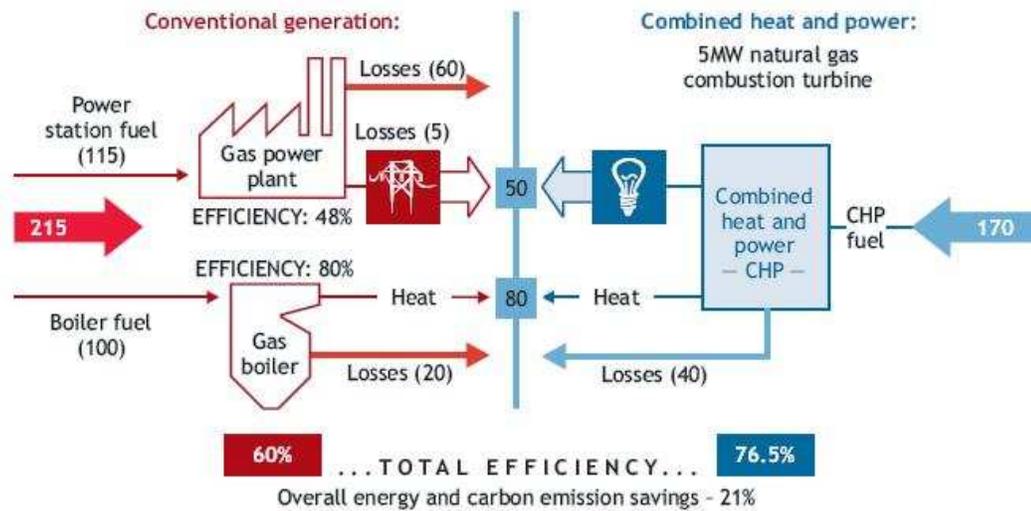
#### 2.4.2 O potencial da madeira como fonte de energia

A energia da madeira produzida com eficiência tecnológica já compete com a energia fóssil em muitos lugares e oferece alguns dos mais altos níveis de eficiência e energia de carbono entre os alimentadores de bioenergia. O mais notável é um sistema chamado de cogeração (CHP systems) que gera eletricidade (e/ou energia mecânica) e também energia térmica num único sistema integrado (Figura 2), (ELLIOTT e SPURR, 1999). Este sistema tem capacidade de geração de calor com eficiência de conversão acima de 80 % e fornos a peletes de madeira tem taxas mais altas de conversão (MABEE e ROY, 2001; KARLSSON e GUSTAVSSON, 2003). Espera-se que esta tecnologia esteja também disponível para a produção comercial competitiva de biocombustíveis líquido de materiais celulósicos, incluindo a madeira. Por exemplo, nos EUA, sistemas de cogeração conseguem uma redução de emissões de 400 Mt CO<sub>2</sub>/ano (HEDMAN, 2007), e na Europa, estima-se uma redução na emissão de gases do efeito estufa em 15% (57 megatons) entre 1990 a 2005, para os sistemas de cogeração, tornando-os uma das soluções primárias em que os países da União Européia confiaram para alcançar os seus alvos quanto as mudanças climáticas

(Figura 2). Contudo, apesar da intenção política crescente na Europa, nos EUA, Japão e outros países, compartilhar os sistemas de cogeração para geração global de energia permanece estagnada nos últimos anos em 9% (IEA, 2008).

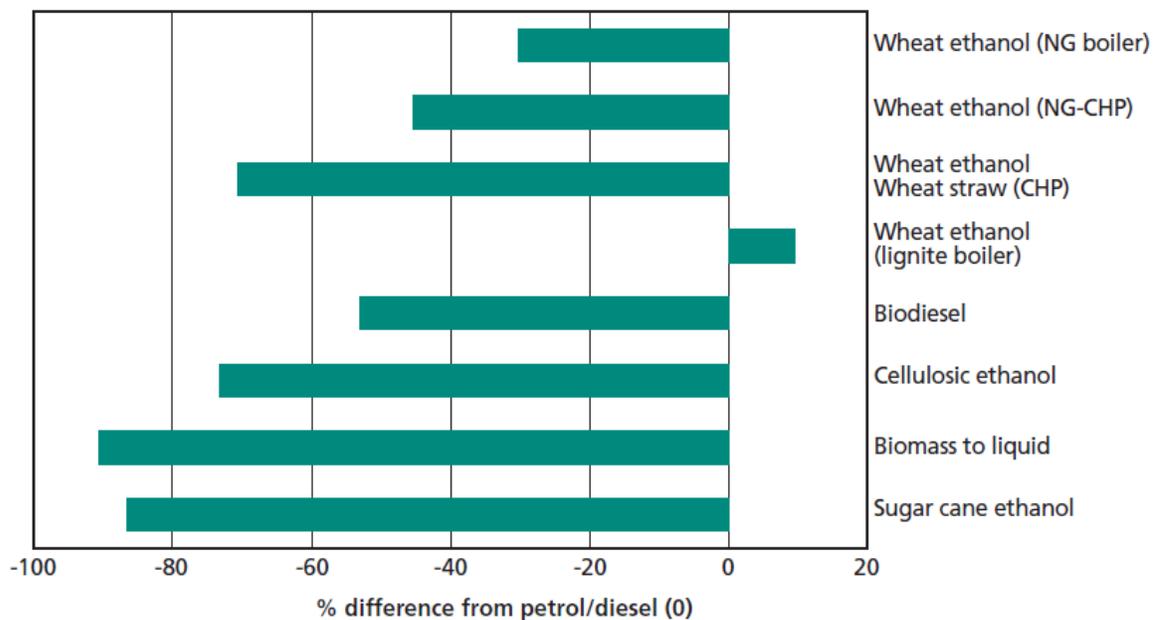
Há uma expectativa de que a segunda geração de biocombustíveis tendo a Madeira e outras fontes de celulose será muito competitiva, tanto em termos de preço quanto em emissões de carbono. Projetos de segunda geração de biocombustíveis líquidos já estão em andamento, e especificamente de culturas perenes e de plantios florestais e resíduos florestais. Tais projetos podem reduzir drasticamente o ciclo de duração de emissões de gases do efeito estufa relativos aos combustíveis fósseis (IEA, 2008).

Comparado com a gasolina ou diesel, as emissões de gases do efeito estufa são mais baixas para a biomassa para processos líquidos (i.e. para processos de gaseificação/pirólise, toda a planta pode ser utilizada). A cana-de-açúcar similarmente colocada e o etanol de celulose reduzem as emissões em torno de 75 %. Etanol de cereais traz pobres reduções de emissão de carbono a menos que as palhas dos cereais sejam usadas em processos de cogeração (CHP) (Figura 3).



Source: IEA analysis, USEPA, 2008.

**Figura 2 -** Ganho de eficiência do CHP: exemplo (todos os valores: HHV);(FONTE:IEA,2008)



Note: CHP – Combined heat and power; NG – Natural gas  
 Source: Global Insight, 2007

**Figura 3 -** Comparação das emissões de gases do efeito estufa derivados de biocombustíveis de várias fontes. (FONTE: Global Insight, 2007; apud FOREST AND ENERGY, 2008).

### 2.4.3 O potencial de produtos derivados cooperando na mitigação

Uma Fórmula para a Performance das Emissões dos três gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) de Produtos Madeireiros provê um meio quantitativo útil de medir e comparar o desempenho de produtos madeireiros e outros materiais quanto a questão ambiental, e também o relacionamento de cada um destes com o aquecimento global. O Dióxido de Carbono é usado como um padrão de referência para se determinar qual o potencial de aquecimento global de um gás. A habilidade de absorção de calor do Óxido Nitroso e do Metano são comparados ao CO<sub>2</sub> equivalente. O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC 2001) utiliza um horizonte de 100 anos para estimar a reatividade ou estabilidade atmosférica destes gases. Eles são utilizados para se estabelecer um Índice de Potencial de Aquecimento Global (**Global Warming Potential Index - (GWPI)**) baseado sobre o equivalente em CO<sub>2</sub> que é definido como (WILSON, 2006):

$$\text{GWPI (kg CO}_2\text{)} = \text{CO}_2 \text{ kg} + (\text{CH}_4 \text{ kg} \times 23) + (\text{N}_2\text{O kg} \times 296)$$

Esta fórmula pode ser aplicada ao ciclo de vida dos produtos madeireiros e materiais de comparação, para calcular se ou não, e por quanto, um dado material, processo ou sistema reduz, controla ou elimina a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera, assim reduzindo a magnitude do potencial de aquecimento global. Para reduzir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, três abordagens podem ser feitas considerando o ciclo de vida dos produtos madeireiros (WILSON, 2006).

A primeira: o seqüestro de carbono. A remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico pela armazenagem, ou seqüestro: carbono nas árvores, raízes e solo da floresta, e pelo seqüestro de carbono em produtos madeireiros, armazenado na forma de Casas Construídas, reciclados em outros produtos, e produtos madeireiros em aterros.

A segunda é o uso da fórmula para contabilização de energia, avaliando o equivalente de redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera como o resultado da sábia seleção de um produto ou processo. Por exemplo, o ciclo de vida de um produto ou material que emite mais CO<sub>2</sub> na atmosfera pode ser substituído por outro (Figura 4/Figura 4).



**Figura 4** - Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos Madeireiros (FONTE: THE ECO-CYCLE OF WOOD AND WOOD-BASED PRODUCTS; 2007).

A Terceira é o uso de biomassa (Madeira, tocos e resíduos de agricultura) como combustível. Quando comparados aos combustíveis fósseis, The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) considera as emissões de CO<sub>2</sub> de combustão de biomassa como “impacto-neutro” em relação ao aquecimento global por causa da habilidade das florestas de reciclar o CO<sub>2</sub>, tornando o carbono em madeira novamente, e liberando oxigênio para a atmosfera (WILSON, 2006).

## **2.5 Performance ambiental dos produtos madeireiros**

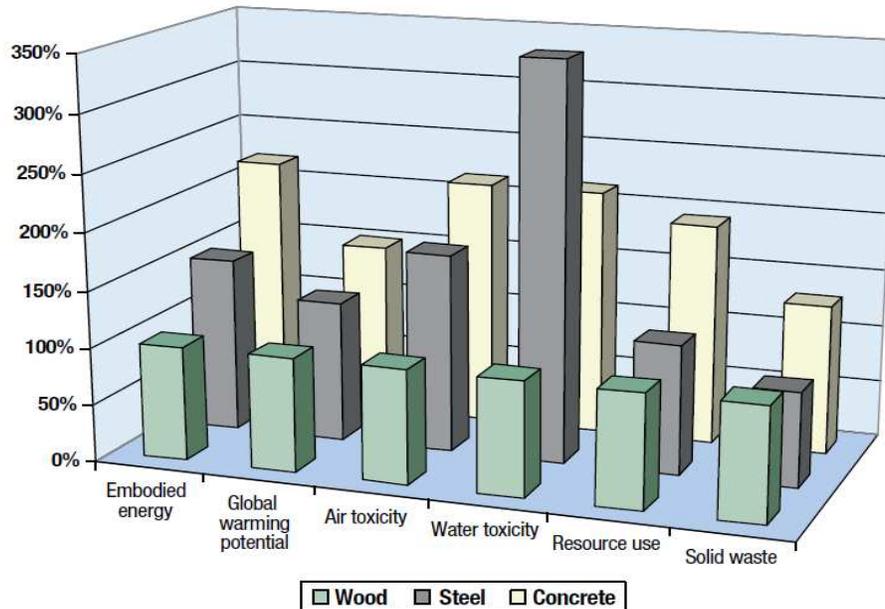
Quando o Carbono é sequestrado pela floresta e por produtos madeireiros, ele

não está sendo reciclado ou retornando para a atmosfera.

Na Figura 5, quando comparados entre si, a madeira, o aço e o concreto, três dos principais materiais utilizados na edificação de casas, fica evidente os ganhos ambientais proporcionados pela madeira, não só quanto a sua origem como recurso natural e renovável, mas também quando se considera o uso e o reuso desta.

Para construção de uma casa de 223m<sup>2</sup>, considerando a utilização destes três materiais (madeira, aço e concreto) separadamente, isto é em três projetos distintos, e o uso durante um período de 20 anos, comparando o projeto com madeira e os projetos com aço e concreto, mostraram se o seguinte, respectivamente (CANADIAN WOOD COUNCIL): poluição do ar: Liberação 24% e 47% maiores; resíduos sólidos: 8% e 23% maiores; uso de recursos naturais: 11% e 81% maiores; energia: 26% e 57% a mais; gases do Efeito Estufa: 34% e 81% a mais; poluição das águas: 4 e 4,5 vezes mais.

Assim, além das vantagens da madeira quanto ao sequestro de carbono em relação ao aço e concreto, ela proporciona um ambiente mais limpo quanto a emissões de poluentes.



**Figura 5** - Resumo comparativo entre os três materiais: (Atribui-se para a madeira o valor de 100%),(CORRIM, 2005 e CANADIAN WOOD COUNCIL).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amplitude do tema exige muito mais estudos e considerando as mudanças climáticas e conseqüentemente a necessidade de mecanismos de desenvolvimento limpos, requerer-se uma resposta urgente. A terra está se aquecendo e a comunidade científica em geral, está convencida de que isto se deve ao aumento das emissões de gases de efeito estufa, deflagrado pelo homem com o advento da industrialização e do consumo crescente da sociedade. Se a emissão de gases continuar a aumentar, ou até mesmo se as taxas atuais se mantiverem no mesmo

patamar, os próximos anos serão ainda mais quentes e as mudanças climáticas mais drásticas.

O cenário atual apresenta duas vertentes: por um lado a oportunidade de um novo salto no desenvolvimento, na busca de alternativas para o modelo de sociedade e de consumo que presenciamos, novas tecnologias respeitando os limites da natureza, isto é do planeta e seus recursos, o que permite ainda uma oportunidade de reversão ainda que parcial do quadro, ou a teimosia em seguir um sistema que já se mostrou inviável, uma vez que os recursos que o planeta dispõe são sim, limitados. Tal

decisão se apresenta como uma escolha difícil para governantes, empresas e populações ao redor do mundo. Mas, ainda é possível encontrar um ponto de equilíbrio entre as medidas de adequação de nossa economia e de mitigação das mudanças climáticas e as ações necessárias a fim de evitar que estas se intensifiquem. Quanto antes forem as ações, e quão profundas forem essas intervenções, maiores serão os seus custos a curto prazo; mas colher-se-á os benefícios de tal decisão. Contudo, quanto mais as protelarmos, mais dispendiosas serão a longo prazo e talvez irreversíveis.

Vivemos um momento ímpar, um momento de oportunidades. Por isto, conscientizar a sociedade e incentivar o uso de produtos madeireiros substituindo produtos emissores de CO<sub>2</sub> (cimento, tijolo, plásticos), adotar processos modernos de produção de carvão vegetal fechados para a produção de aço e ferro-gusa (fixação de CO<sub>2</sub>), associando materiais que tragam preservação e economicidade, e aproveitando os subprodutos da carbonização vegetal.

Portanto é necessário reconhecer que os produtos florestais e as verdadeiras indústrias de base florestal são cooperadoras na mitigação dos efeitos do aquecimento

global, diminuindo os seus efeitos e abrindo novos caminhos evitando mais destruição das florestas nativas, uma vez que as empresas sérias procuram cumprir a legislação ambiental e utilizam terras que são inapropriadas para a agricultura. Portanto, incentivar a produção florestal, desenvolver novas tecnologias de base florestal é um papel importante dos governos para que se ampliem os investimentos na área e cresça os sistemas de desenvolvimento limpo.

#### 4 REFERÊNCIAS

BENÍTEZ PC, MCCALLUM I, OBERSTEINER M, YAMAGATA Y: **Global potential for carbon sequestration: Geographical distribution, country risk and policy implications.** Ecological Economics 2006, 60:572-583

CANADIAN WOOD COUNCIL; **Wood and Green Building 3.** Disponível em: <<http://www.cwc.ca/DesignWithWood/Sustainability/Green%20Building%20Rating%20Systems?Language=EN>> Acesso em: 02 fev. 2007.

CORRIM, (Inc) **CONSORTIUM FOR RESEARCH ON RENEWABLE INDUSTRIAL MATERIALS.** 2001. Research Guidelines for Life Cycle

Inventories. Seattle, WA 98195; April 8, 2005.

EASTERLING, W.E.; AGGARWAL, P.K., BATIMA, P.; BRANDER, K.M.; ERDA, L.; HOWDEN, S.M.; KIRILENKO, A. J.; MORTON, SOUSSANA, J.;- SCHMIDHUBER, F. J. and TUBIELLO, F.N.; **Food, fibre and forest products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313; 2007.

THE ECO-CYCLE OF WOOD AND WOOD-BASED PRODUCTS; Disponível em: <http://www.cwc.ca/DesignWithWood/Sustainability/Eco-Cycle?Language=EN>; Acesso em Fevereiro de 2007

ELLIOTT, R. N.; SPURR, M.; **COMBINED HEAT AND POWER: CAPTURING WASTED ENERGY**, Maio, 1999; Disponível em < <http://www.aceee.org/pubs/ie983.htm>> Acesso em 23 de setembro de 2008

**FORESTS AND ENERGY; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**, Rome, 2008

HEDMAN, B. **Combined Heat and Power and Heat Recovery as Energy Efficiency Options**. Presentation on behalf of US CHP Association and ICF Consulting, Washington, DC, 2007.

HEGERL, G.C., ZWIERS, F. W.; BRACONNOT, P.; Gillett, N.P.; LUO, Y.; MARENGO ORSINI, J.A.; NICHOLLS, N.;

PENNER J.E. and STOTT, P.A.; **Understanding and Attributing Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IEA; The International Energy Agency; **Combined Heat and Power Evaluating the benefits of greater global investment**; Head of Communication and Information Office, 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France; OECD/IEA, 2008

IPCC, 2001. **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC, 2005: **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

IPCC, 2007: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge

University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2007: **Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KARLSSON, Å. & GUSTAVSSON, L.. **External costs and taxes in heat supply systems.** *Energy Policy*, 31: 1541–1560; 2003.

KYOTO PROTOCOL REFERENCE MANUAL ON ACCOUNTING OF EMISSIONS AND ASSIGNED AMOUNTS; UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – Secretariat; February 2007

LE TREUT, H.; SOMERVILLE, R.; CUBASCH, U.; DING, Y.; MAURITZEN, C.; MOKSSIT, A.; PETERSON, T. and PRATHER, M.: **Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

MABEE, W.E. & ROY, D.N. **Fuelwood – an overview. In A compendium of plant and animal life-cycle and their impact on**

**the environment**, Vol. 2, pp. 310–317. Calcutta, India, Srebhumi Publishing Company, 2001.

MENNE, Matthew J. \* **Abrupt Global Temperature Change And The Instrumental Record**; NOAA National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina, 2006

MET OFFICE'S HADLEY CENTRE FOR CLIMATE PREDICTION AND RESEARCH; **Observed Climate Change In 2002 And 2003; Recent research on climate change science from the Hadley Centre**; Produced by the Met Office Hadley Centre, United Kingdom; December 2003

MNP, **Integrated modeling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4.** (Edited by A.F. Bouwman, T. Kram and K. Klein Goldewijk) Netherlands; Environmental Assessment Agency (MNP), Bilthoven, The Netherlands, 2006.

NABUURS, G.J., MASERA, O.; ANDRASKO, K., BENITEZ-PONCE, P.; BOER, R.; DUTSCHKE, M.; ELSIDDIG, E.; FORD-ROBERTSON, J.; FRUMHOFF, P.; KARJALAINEN, T.; KRANKINA, O.; KURZ, W.A.; MATSUMOTO, M.; OYHANTCABAL, W.; RAVINDRANATH, N.H.; SANZ SANCHEZ, M.J.; ZHANG, X.: **Forestry. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

PHAT NK, KNORR W, KIM S:  
**Appropriate measures for conservation of terrestrial carbon stocks – Analysis of trends of forest management in Southeast Asia.** *Forest Ecology and Management* 2004, 191:283-299

POST, W.M., T-H. PENG, W.R.  
EMANUEL, A.W.KING, V.H. DALE and D.L. DEANGELIS. **The Global Carbon Cycle.** *American Scientist* 78:310-326, 1990.

PROTOCOLO DE QUIOTO À  
CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES  
UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA;  
Disponível em <[http://www.onu-brasil.org.br/doc\\_quioto.php](http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto.php)> Acesso em 12 de Julho de 2008

SATHAYE J, BOUILLE D, BISWAS D,  
CRABBE P, GENG L, HALL D, IMURA  
H, JAFFE A, MICHAELIS L, PESZKO G,  
et al.: **Barriers, Opportunities, and Market Potential of Technologies and Practices.** In *Climate change 2001: Mitigation, Contribution of working group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* Edited by: Metz B, Davidson O, Swart R, Pan J. Cambridge University Press, London, New York: IPCC; 2001:351-758.

SATHAYE JA, MARKUNDI W,  
ANDRASKO K, BOER R,  
RAVINDRANATH NH, SUDHA P, RAO  
S, LASCO R, PULHIN F, MASERA O, et  
al.: **Carbon mitigation potential and costs of forestry options in Brazil, China, India, Indonesia, Mexico, the Philippines and Tanzania.** *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2001, 6:185-211.

STRENGERS B, van MINNEN JG,  
EICKHOUT B: **The costs and**

**uncertainties in establishing C plantations in order to mitigate climate change.** *Climatic Change* 2008, in press.  
OpenURL

UNFCCC: **THE UNITED FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE.** UN, 1993.

Van MINNEN JG, STRENGERS B,  
EICKHOUT B, KLEIN GOLDEWIJK K:  
**Simulating carbon exchange between the terrestrial biosphere and atmosphere. In Integrated modelling of global environmental change** An overview of IMAGE 24. Edited by: Bouwman AF, Kram T, Klein Goldewijk K. Bilthoven, the Netherlands; 2006:113-130.

Van MINNEN, J. G. Van; STRENGERS, B.J.;EICKHOUT, B.;STUART, R. J and LEEMANS, R. **Quantifying the Effectiveness of Climate Change Mitigation Through Forest Plantations and Carbon Sequestration With an Integrated Land-Use-Model.** Carbon Balance and Management, BioMed Central Ltd, Netherlands, 2008

VASCONCELOS, S; GONÇALVES, D;  
**Seqüestro de Carbono vs. Aquecimento Global Contribuição de Sistemas Agroflorestais;** Embrapa Amazônia Oriental; MAPA

WATSON RT, NOBLE IR, BOLIN B,  
RAVINDRANATH NH, VERADO D,  
DOKKEN DJ, Eds: **IPCC Special report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry.** Cambridge: Cambridge University Press; 2000:377

**WILSON, James; Ph.D.; Using Wood  
Products to Reduce Global Warming,**  
Department of Wood Science and  
Engineering, Oregon State University, USA,  
2006.