

# Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia

*CO<sub>2</sub> emission from Amazon native wood transportation*

Érica Ferraz Campos  
Katia Regina Garcia Punhagui  
Vanderley Moacyr John

## Resumo

**A** madeira aplicada à construção é considerada um estoque de carbono. O transporte na cadeia produtiva da madeira implica em emissão de CO<sub>2</sub>, reduzindo seu estoque líquido. Com base nos dados de 2007 do IBAMA sobre origem, destino e volume de madeira serrada amazônica transportada nacionalmente, a distância média percorrida foi estimada em 1.956km. Fatores de consumo de diesel entre 0,005L/t.km e 0,017L/t.km, equivalentes a fatores de emissão de 12,8gCO<sub>2</sub>/t.km a 50,6gCO<sub>2</sub>/t.km, foram identificados em literatura e levantamentos realizados neste estudo. Para quantificar a emissão de CO<sub>2</sub>, foram analisados quatro modelos de veículos, com diferentes capacidades de carga. A influência da densidade da madeira determinou uma variabilidade de até 210% no resultado final; o peso próprio do veículo, de 30 a 43%. Deslocamentos de 1.000km, com madeira serrada de diferentes densidades, representam entre 1,3 e 6,1% de redução do estoque de carbono da madeira; dados do GHG Protocol indicam valores entre 20,1% e 24,4%. Em 2007, o transporte legal de madeira serrada amazônica teria determinado consumo nacional de diesel estimado entre 0,16% e 0,56%; em termos de emissão nacional, assumindo o ano base de 2005, o resultado teria sido de 0,12% a 0,46%. O estoque líquido potencial, relativo à madeira serrada contabilizada na base DOF 2007 do IBAMA, considerando apenas a redução por transporte, teria potencialmente estocado entre 4,77 e 5,19 x10<sup>6</sup> tCO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** Madeira. Carbono. Energia. Transporte. Mudanças climáticas.

## Abstract

*Wood incorporated into construction is considered a carbon stock. Transportation in the wood supply chain generates CO<sub>2</sub>, which reduces its net stock. Based on IBAMA's data from 2007 about origin, destination and volume of the Amazon sawn wood transported nationally, the average distance traveled was estimated at 1,956 km. Diesel consumption factors between 0.005 L/t.km and 0.017 L/t.km, equivalent to emission factors of 12.8gCO<sub>2</sub>/t.km to 50.6 gCO<sub>2</sub>/t.km, were identified in the literature and in surveys undertaken in this investigation. To quantify CO<sub>2</sub> emission, four categories of freight trucks were evaluated, with different load weight capacities. Wood density influenced variability in the final results by up to 210%; the vehicle weight itself from 30% to 43%. A 1,000 km route with different sawn wood densities reduced carbon stock by 1.4% to 6.1%; GHG Protocol data resulted in values from 20.1% to 24.2%. In 2007, legal transportation of Amazon wood contributed to the Brazilian diesel consumption at an estimated 0.16% to 0.56%; the Brazilian CO<sub>2</sub> emission based on 2005 data, is estimated at 0.12% to 0.46%. The net carbon stock of sawn wood, relative to IBAMA's 2007 data, considering just stock reduction from transportation, would potentially result at between 4.77 and 5.19 x 10<sup>6</sup> tCO<sub>2</sub>.*

**Keyword:** Wood. Carbon. Energy. Transportation. Climate change.

**Érica Ferraz Campos**  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil, Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Almeida Prado, 83, Trav. 2,  
Cidade Universitária  
São Paulo - SP - Brasil  
CEP 05508-900  
Tel.: (11) 3091-9170  
E-mail: erica.ferraz@lme.pcc.usp.br

**Katia Regina Garcia Punhagui**  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil, Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Almeida Prado, 83, Trav. 2,  
Cidade Universitária  
São Paulo - SP - Brasil  
CEP 05508-900  
Tel.: (11) 3091-9170  
E-mail: katia@lme.pcc.usp.br

**Vanderley Moacyr John**  
Departamento de Engenharia de  
Construção Civil, Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Almeida Prado, 83, Trav. 2,  
Cidade Universitária  
São Paulo - SP - Brasil  
CEP 05508-900  
Tel.: (11) 3091-5794  
E-mail: john@poli.usp.br

Recebido em 01/03/11  
Aceito em 10/05/11

## Introdução

No inventário brasileiro de gases de efeito estufa, o setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas representou 77% do total de emissões de dióxido de carbono em 2005. A perda de biomassa e, portanto, de carbono da floresta Amazônica representou isoladamente 50% das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> (BRASIL, 2010). A extração de toras para a obtenção de produtos de madeira tropical inicia o processo de desmatamento (INPE, 2008), sendo a construção civil um dos principais mercados consumidores do material (ZENID, 2009). Adicionalmente, é provável que grande parte da madeira nativa amazônica comercializada tenha origem ilegal, sendo esta estimada em 80% por Zenid (2009), mas o número exato é incerto.

A demanda pela madeira nativa amazônica encontra-se distribuída em mercados nacionais e internacionais. No mercado nacional, a maior parte da madeira extraída da floresta é destinada às regiões Sudeste e Sul (INSTITUTO..., 2007); no mercado internacional, aos EUA, China e França (PEREIRA *et al.*, 2010).

A madeira de construção é considerada um estoque de carbono ao longo de sua vida útil. O estoque pode ser considerado efetivo no caso de uso de longo prazo; porém, parte da madeira é absorvida em usos de curto prazo, como andaimes e fôrmas de concretagem (SOBRAL *et al.*, 2002). Outro fator a ser considerado é que, para atingir o mercado consumidor, a madeira nativa é transportada, no Brasil, em longas distâncias pelo modal rodoviário. Essa etapa do processo produtivo pode reduzir o estoque líquido de carbono devido à queima de combustíveis fósseis, o que significa haver uma distância-limite a partir da qual as emissões de CO<sub>2</sub> do transporte ultrapassam a quantidade de carbono estocada na madeira (GUSTAVSSON; ERIKSSON; SATHRE, 2011).

O consumo energético para transporte de produtos é quantificado por Kamakaté e Schipper (2009). Os autores apresentam estimativas da demanda energética por tonelada-quilômetro em diferentes países. Alto fator de consumo é relacionado ao Japão, devido às características de transporte do país, como uso de veículos de pequeno porte e declividade das estradas. Ao se converter o consumo médio do Japão em emissão de dióxido de carbono, a geração média seria de 371 g de CO<sub>2</sub>/t.km (KAMAKATÉ; SCHIPPER, 2009). Referência internacional para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa, o GHG Protocol (2011) estabelece a emissão entre 185 g de CO<sub>2</sub>/t.km e 203 g de CO<sub>2</sub>/t.km. Calculadoras virtuais de emissão de dióxido de carbono por

transporte permitem fazer a simulação com entradas de distância, modal de transporte e porte de veículo, trazendo fatores entre 34 g e 252 g de CO<sub>2</sub>/t.km.

Por meio das ferramentas de cálculo de CO<sub>2</sub>, caminhões de pequeno porte teriam emissão elevada na razão de 1,7 (LIPASTO, 2011) a 4,4 (NÄTVERKET..., 2011) em comparação com caminhões de grande capacidade de transporte de cargas, como, por exemplo, com reboque; cargas de alta densidade praticamente dobrariam a emissão em comparação a cargas de baixa densidade, no caso de o volume da carga limitar a capacidade do veículo em detrimento do peso da carga (ECOLOGICAL..., 2011). Conforme afirmam Ruzzenenti e Basosi (2009), a relação entre carga e consumo energético, este diretamente relacionado com a emissão de CO<sub>2</sub>, não segue uma proporção única ou linear.

Em literatura nacional e internacional sobre transporte de cargas de madeira, geralmente é quantificado o consumo energético para deslocamento de espécies de baixa densidade, provenientes de florestas de coníferas, e com diferentes características de transporte, o que limita a aplicação direta dos dados ao contexto da madeira amazônica. Países com indústria madeireira baseada em florestas de espécies coníferas têm madeiras com densidade inferior à maioria das espécies amazônicas, o que determina menor peso de carga transportada e, portanto, menor consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, a exploração de florestas de coníferas permite maior grau de mecanização e eficiência no aproveitamento da biomassa, o que torna o consumo energético da etapa de transporte elevado em comparação com as demais etapas do processo produtivo (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2009).

Segundo o estudo de Healey *et al.* (2009), o transporte de madeira oriunda de florestas de coníferas por caminhões geraria 14,4 g de CO<sub>2</sub>/t.km. Não foi encontrada na literatura nacional quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do transporte da madeira nativa brasileira.

Outro fator relevante para o impacto do transporte é a distância. Gustavsson e Sathre (2006) relatam a distância de transporte entre 220 km e 350 km para Noruega e Suécia; nos Estados Unidos, região de Montana, a distância entre floresta e serraria era de 214 km em 2004, com trechos do percurso sem pavimentação (HEALEY *et al.*, 2009).

Pela especificidade do transporte nacional de madeira nativa, o objetivo do trabalho é estimar as emissões de dióxido de carbono resultantes do transporte da madeira serrada amazônica, em deslocamentos nacionais típicos, e avaliar a redução do estoque líquido de carbono, em função dessa etapa do processo produtivo.

## Metodologia

Para estimar as distâncias típicas de transporte no Brasil, foi utilizada a base de dados de madeira serrada do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) referente a 2007. A partir de 40.448 registros de volume de madeira transportada, avaliando cidades de origem e destino, foram calculadas as distâncias correspondentes, por meio do site Google Maps (2011a). Os dados de volume de madeira do Ibama, a partir da densidade média da madeira de diferentes espécies, obtida em literatura, permitiram calcular a massa média transportada. A faixa de variação de consumo de combustível em veículos de carga foi obtida a partir da literatura e de levantamentos realizados pela equipe de pesquisadores. Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> foram obtidos a partir da quantidade de combustível consumido, por unidade de peso e distância, e do teor. Finalmente, o estoque líquido de carbono foi calculado subtraindo-se a emissão de CO<sub>2</sub> no deslocamento do carbono contido na madeira.

Os resultados de emissão de CO<sub>2</sub>, a partir da base de dados Documento de Origem Florestal (INSTITUTO..., 2007), foram comparados com dados nacionais de consumo de diesel e emissão de gases-estufa no setor de transportes, analisando-se o impacto isolado do transporte legalizado da madeira amazônica, em uma abordagem *bottom-up*.

## Base de dados do Ibama

A base de dados é relativa aos Documentos de Origem Florestal (DOF), que apontam a quantidade transportada de produtos florestais no Brasil no ano de 2007.<sup>1</sup> Os dados disponíveis são organizados em tipos como madeira em toras, madeira serrada, lenha e carvão, no endereço eletrônico do Ibama, em formato Microsoft Excel (IBAMA, 2007).

No presente trabalho analisou-se apenas o transporte da madeira nativa serrada com origem na região amazônica. Optou-se por não incluir a

base de dados de toras, pelo provável uso de vias fluviais, como também pelo fato de ocorrerem, por vias rodoviárias, apenas em curtas a médias distâncias, até alcançarem o local onde são transformadas em madeira serrada. Na maioria dos casos verificados, o uso do transporte fluvial foi considerado como o mais provável para o deslocamento de toras. Estas teriam percorrido curtas distâncias em comparação com o transporte de madeira serrada, sendo esse o maior gerador de impactos no deslocamento. Para cargas de toras maiores que 4.000 m<sup>3</sup>, entre municípios de origem e de destino, a distância média ponderada foi calculada como 62 km, com desvio médio de ±4 km. Dados de literatura estimam a distância média em 117 km (PEREIRA *et al.*, 2010).

Do total de 40.448 registros origem-destino da base de dados da madeira serrada, foram filtrados os que continham origem na Amazônia, resultando em 28.418 itens. A madeira serrada foi admitida como etapa de transporte entre serraria e mercado consumidor, que tanto pode ser local de beneficiamento, depósito ou consumidor final. Pode haver outras etapas posteriores, como de transporte do local de beneficiamento ao depósito e deste ao consumidor final, entretanto o recorte do trabalho com filtro na Amazônia as exclui, o que subestima o resultado total de impacto nacional do transporte da madeira nativa.

## Distância de transporte

As informações de distâncias entre os municípios de origem e destino foram extraídas do site Google Maps (2011a), com uso da simulação de percursos, e escolhido o menor valor entre as alternativas de distância apresentadas pelo programa. Para municípios não contemplados por estradas oficiais, a distância foi estimada a partir da rodovia ou estrada oficial mais próxima ao município identificada no mapa.

Os dados do Ibama (2007) não informam o tipo de transporte utilizado no deslocamento entre municípios. Admitiu-se que parte dos deslocamentos seja realizada por vias fluviais e, portanto, alguns percursos foram retirados da quantificação, visando evitar distorções. Para a exclusão de percursos seguiram-se algumas regras. Foram considerados como rodoviários todos os deslocamentos tendo por destino os estados das regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul. Nos casos em que ambas as cidades estavam situadas às margens de rios, com ligação fluvial entre elas, o transporte foi caracterizado como fluvial. Os volumes transportados dentro de um mesmo município não foram considerados. Foram

<sup>1</sup> O Relatório DOF 2007 foi utilizado como referência por ser a base de dados nacionais mais recente publicada pelo Ibama. Devido à descentralização das informações do DOF não foram mais disponibilizados relatórios anuais.

excluídos 3.501 registros, o que resultou em 24.917 registros admitidos como rodoviários.

### Veículos de transporte de carga

Para a caracterização dos veículos foram utilizados como fontes de informação empresas de comercialização de produtos de madeira, banco de imagens e notícias de mídia em sites de busca, como Google Images (2011b) e Google Vídeos (2011c). As buscas nos sites de imagens e vídeos foram realizadas com as palavras chave: transporte, madeira, Amazônia, nativa, toras, serrada, isoladamente e em diferentes agrupamentos. O objetivo foi avaliar as condições de deslocamentos na região e identificar os modelos de caminhão típicos para transporte da madeira, em toras e serrada. A massa de carga transportada, por cada veículo, seguiu as categorias estabelecidas pelo CONTRAN, em legislação nacional.

Conforme ilustrado na Figura 1, os modelos de composição definidos para o estudo foram:

- (a) caminhão sem composição, com dois eixos;
- (b) caminhão sem composição, com três eixos;
- (c) caminhão-trator com semirreboque; e
- (d) bitrem articulado.

Considerou-se que os veículos realizam o transporte com sua capacidade máxima de carga, seguindo valor estabelecido de peso bruto total combinado (PBTC) em legislação nacional (DNIT, 2011). O cálculo de PBTC incluiu o peso do veículo, dos equipamentos de apoio mecânico (combinação), da máxima capacidade do tanque de combustível e da carga transportada. Os modelos de veículos empregados nos cenários, sua especificação técnica e as cargas máximas estão descritos na Tabela 1. Informações dos modelos foram obtidas em fichas de especificações técnicas dos fabricantes dos veículos e implementos rodoviários, disponíveis nos respectivos endereços eletrônicos (GUERRA, 2011; VOLVO, 2011).

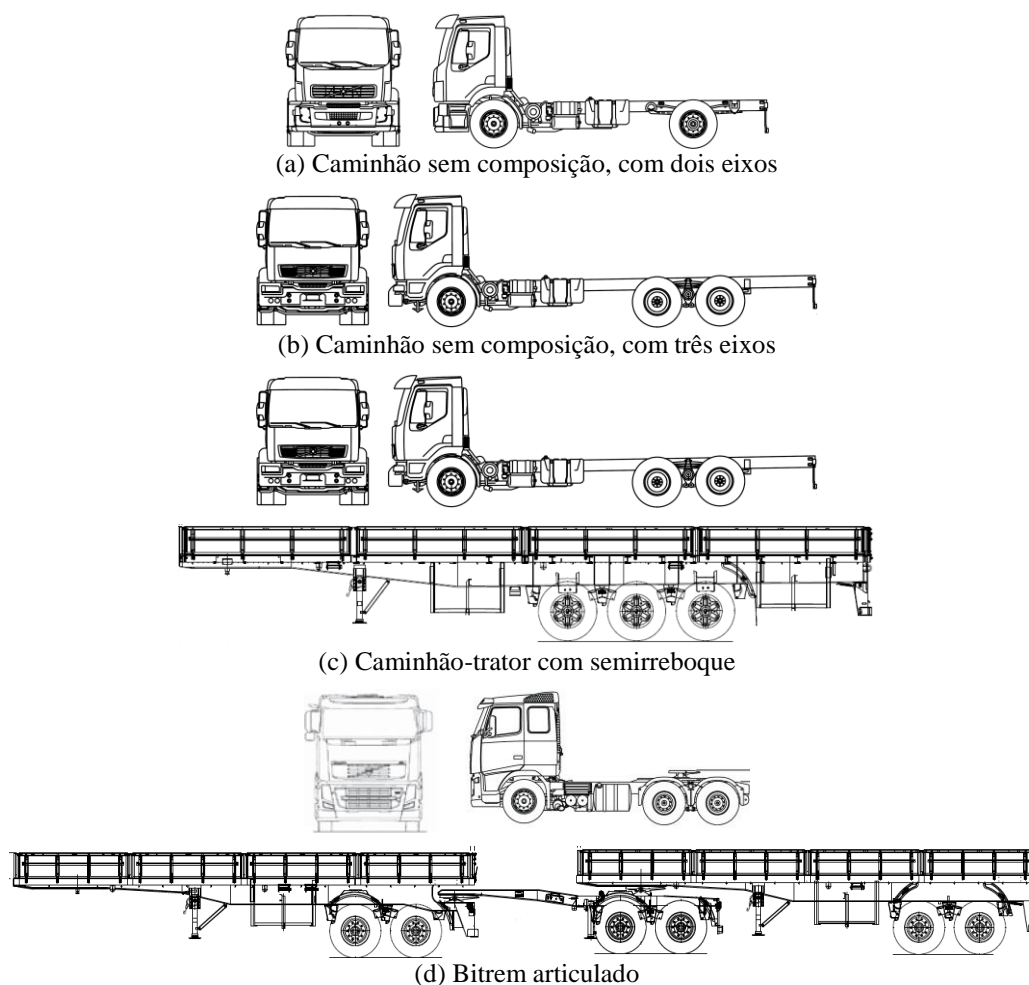


Figura 1 - Categorias de caminhões tipicamente utilizados no transporte brasileiro de cargas  
Fontes: Volvo (2011) e Guerra (2011).

Tabela 1 - Especificações técnicas de quatro modelos de veículos de transporte de carga e quantificação da carga máxima total permitida

	<b>Modelo A</b>	<b>Modelo B</b>	<b>Modelo C</b>	<b>Modelo D</b>
	Volvo VM 4x2R	Volvo VM 6x4R	Volvo VM 6x4R	Volvo FH 6x4T
Motor			e semirreboque	e bitrem
Cavalos	206	310	310	400
kW	152	228	228	294
rpm	2.200	2.200	2.200	1.400 a 1.800
Cilindrada (L)	4,8	7,2	7,2	12,8
Comprimento (m)	6,2	7,5	20,0	27,7
Tanque Máximo (L)	560	560	560	700
Peso Chassi (t)	5,0	7,2	7,2	9
Peso Composição (t)*	1,5	1,5	7	14
Peso Combustível (t)**	0,48	0,48	0,48	0,60
Peso Bruto Total (t)	16,0	23,0	–	–
Carga Máxima de Tração (t)	–	–	54,0	78,0
<b>Peso Máximo da Carga (t)</b>	<b>9,1</b>	<b>13,8</b>	<b>39,2</b>	<b>54,8</b>

Nota: \* estimado para modelo A e B; e \*\* densidade do diesel = 0,85 kg/L.

Fonte: Guerra (2011) e Volvo (2011).

## Consumo de combustível

A Tabela 2 apresenta os dados de consumo máximo e mínimo de diesel, levantados em revista especializada em transporte de cargas (Transporte Mundial) e entrevistas com empresas madeireiras de produtos da floresta nativa (não publicadas)<sup>2</sup>. Em ambas as fontes, os dados fornecidos foram peso da carga, modelo de veículo e distância percorrida por litro de diesel. Os dados das empresas madeireiras foram obtidos por autodeclaração, não tendo sido levantados ou verificados em bases científicas. O modelo de veículo utilizado segue descrição fornecida pelos entrevistados. A partir da descrição dos veículos e peso de carga, fornecidos pelas fontes, foi estimado o PBTC. A partir do cruzamento entre eficiência e PBTC, calculou-se o consumo de combustível dos veículos.

Os testes de consumo realizados pela revista especializada são balizadores do melhor cenário: veículos novos e tecnologicamente eficientes, com grande capacidade de carga, sendo deslocados por rodovias de manutenção adequada. Todos os testes foram realizados em deslocamento de ida e retorno entre a região metropolitana de São Paulo (SP) e cidades do litoral paulista. A trajetória incluiu subida e descida da serra, com fornecimento de consumo de energia para as duas condições e ao nível do mar. Localizadas em estados do Sudeste e Sul do Brasil, as madeireiras refletem o transporte

típico do produto no Brasil. Adquirem madeira nativa, principalmente dos estados de Pará, Mato Grosso e Rondônia, transportada por meio de caminhões sem composição, carretas e bitrens.

Em consequência, a faixa de consumo adotada neste trabalho foi extraída dos dados obtidos com as madeireiras, variando entre 0,05 L/t.km e 0,017 L/t.km, com mediana de 0,013 L/t.km.

Dados de literatura trazem 0,015 L/t.km para caminhões de pequeno porte, valor similar ao modelo A; e 0,008 L/t.km para médio porte, compatível com modelo C (RUZZENENTI; BASOSI, 2009).

É importante ressaltar que a variação de consumo de combustível pode ser, de fato, observada na prática devido a fatores como tipo de veículo e sua tecnologia, tempo de vida e manutenção do veículo, qualidade do combustível, temperatura de operação, capacidade de carga do veículo, peso da carga transportada, distância percorrida, velocidade média do percurso, qualidade das vias e infraestrutura, condições de deslocamento, fluxo e congestionamento do sistema, topografia do percurso, condições climáticas no trajeto, hábitos e comportamento do motorista durante a condução, entre outros aspectos (KAMAKATÉ; SCHIPPER, 2009; RUZZENENTI; BASOSI, 2009).

<sup>2</sup> Entrevista e levantamento com empresas de comercialização de produtos de madeira, entre eles casas pré-fabricadas. Das empresas entrevistadas, cinco forneceram dados de consumo de combustível dos veículos.

Tabela 2 - Faixa de consumo de combustível diesel (L), por tonelada-quilômetro (t.km), segundo referências brasileiras de transporte de carga e transporte de madeira

Fonte	Consumo L/t.km	Modelo de Veículo	Eficiência km/L	Peso Carga t	PBTC t
<b>Revista especializada Transporte Mundial</b>					
Máximo	0,011	<b>Caminhão tipo 1: 4x2</b>	<b>4,6</b>	<b>12,0</b>	18,9
Mínimo	0,005	<b>Caminhão tipo 2: 6x4</b>	<b>3,0</b>	<b>51,1</b>	74,2
<b>Madeireiras</b>					
Máximo	0,017	<b>Caminhão tipo 3</b>	<b>2,5</b>	<b>15,0</b>	24,2
Mínimo	0,005	<b>Caminhão tipo 4</b>	<b>6,5</b>	<b>17,4</b>	32,2
Mediana	0,013				

Nota: Dados diretamente fornecidos estão apresentados em negrito.

Fonte: Transporte Mundial (2010) e levantamentos diretos da equipe, por entrevistas (E) e visitas técnicas (VT), a sete empresas, sendo 3 no estado de São Paulo (E:3; VT:3), três em Santa Catarina (E:3 ; VT:1) e uma em Rondônia (E), no período de setembro a dezembro de 2010 (não publicados).

Tabela 3 - Faixa de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por tonelada-quilômetro (t.km)

	Consumo L/t.km	Fatores de emissão		
		GHG Protocol (2.676 g de CO <sub>2</sub> /L) g de CO <sub>2</sub> /t.km	MCT (2.799 g de CO <sub>2</sub> /L) g de CO <sub>2</sub> /t.km	IPCC (3.063 g de CO <sub>2</sub> /L) g de CO <sub>2</sub> /t.km
Máximo	0,017	44,2	46,2	<b>50,6</b>
Mínimo	0,005	<b>12,8</b>	13,4	14,6
Mediana	0,013	35,4	<b>37,0</b>	40,5

Fonte: GHG Protocol (2011), Intergovernmental Panel on Climate Change (2006a) e Brasil (2006).

### Fatores de emissão de CO<sub>2</sub>

Para o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub>, o IPCC estabelece diretrizes de cálculo. A oxidação do combustível é considerada completa, e as estimativas baseiam-se na quantidade e tipo de combustível, e em seu teor de carbono. Para o teor de emissão de CO<sub>2</sub> no diesel, foram usados dados nacionais (Tier 2) e dados padrão IPCC (Tier 1), sendo constituída uma faixa de variação, com o objetivo de refletir incertezas, procedimento que foi realizado para os demais parâmetros da quantificação. As incertezas no fator de emissão de gases-estufa levantadas pelo IPCC (INTERGOVERNAMENTAL..., 2006a) são de composição dos combustíveis, que podem ocorrer em função de variações na fabricação, adulteração e inclusão de biodiesel ou outros aditivos. Devido à alta incerteza na geração de outros gases-estufa, como N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, e ao fato de o CO<sub>2</sub> representar o maior volume de emissões, entre 97% e 99% do CO<sub>2</sub> equivalente na queima de combustíveis fósseis (INTERGOVERNAMENTAL..., 2006a; BRASIL, 2006, 2010), a quantificação centrou-se na geração de dióxido de carbono.

Os fatores de emissão de dióxido de carbono foram calculados com base no consumo de combustível diesel em função da carga transportada, na unidade g de CO<sub>2</sub>/t.km, a partir do teor de carbono do litro do diesel. As referências adotadas de geração

de CO<sub>2</sub> por litro foram IPCC (INTERGOVERNAMENTAL..., 2006a), GHG Protocol (2011) e Brasil (2006). O IPCC estabelece variável entre 2.972 e 3.063 g de CO<sub>2</sub> por litro de diesel (IPCC, 2006a). Segundo o GHG Protocol (2011), cada litro de diesel queimado gera 2.676 g de CO<sub>2</sub>. Para o diesel brasileiro, o fator de emissão seria de 2.799 g de CO<sub>2</sub> por litro, com referência ao ano de 1994 (BRASIL, 2006). Para dados atuais, a Segunda Comunicação Nacional apresenta o total emitido de gases-estufa e a energia total consumida por combustível, ambos para 2005. Com essas informações é possível quantificar a emissão por litro de diesel como sendo 2.604 g de CO<sub>2</sub>/L (BRASIL, 2010). Essas emissões são diretas, ou seja, não incluem os processos de extração, produção e transporte do combustível. A recente inclusão de biodiesel no diesel brasileiro pode ser uma razão para a redução do teor, em comparação com o valor fornecido em 2006. Entretanto, por ser um dado oficial e publicado diretamente, assume-se o valor de 2.799 g de CO<sub>2</sub>/L para o diesel brasileiro.

Com os valores de consumo apresentados, a faixa de emissão de CO<sub>2</sub> resultante é de 12,8 g de CO<sub>2</sub>/t.km a 50,6 g de CO<sub>2</sub>/t.km, e mediana de 37,0 g de CO<sub>2</sub>/t.km, referente ao teor de diesel brasileiro, conforme pode ser acompanhado na Tabela 3.

Referências nacionais e internacionais de fator de emissão foram encontradas. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários cita 116 g de CO<sub>2</sub>/t.km para o transporte de cargas rodoviárias nacionais, indicando o Departamento Norte-Americano de Transportes como fonte primária da informação (OLIVA, 2008).

Demais referências oferecem diretamente dados de emissão, com resultados variados. A faixa de emissão entre 34 e 371 g de CO<sub>2</sub>/t.km pode ser assumida, segundo fontes internacionais. O maior fator, 371 g de CO<sub>2</sub>/t.km, refere-se ao transporte de cargas no Japão, sendo atribuído às características de transporte de cargas do país: percursos de curta distância, topografia acidentada e emprego de veículos de pequeno porte, que participam em 58% do transporte total no país (KAMAKATÉ; SCHIPPER, 2009). O menor fator, 34g de CO<sub>2</sub>/t.km, foi extraído de ferramenta de quantificação de emissões no transporte da Finlândia, país com trajetos de topografia plana, manutenção constante na pavimentação, ausência de engarrafamentos, veículos com pouco tempo de uso, etc. (LIPASTO, 2011).

Kamakaté e Schipper (2009) trazem informações de demanda energética por tonelada-quilômetro relativas a países pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Para a conversão da energia em emissão de CO<sub>2</sub> foi empregado potencial energético do litro de diesel, de 35,52 MJ (MINISTÉRIO..., 2008), e o teor de emissão do IPCC (2006a), de 3.063 g de CO<sub>2</sub>/L. Os valores obtidos foram 345 g de CO<sub>2</sub>/t.km, para o transporte no Reino Unido; 267 g de CO<sub>2</sub>/t.km, para a França; e 147 g de CO<sub>2</sub>/t.km, para a Austrália. Esses valores representam médias nacionais, podendo haver variações para casos específicos, e demonstram a existência de diferença nos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> ao se compararem países.

O GHG Protocol (2011) estabelece o fator de 185 g de CO<sub>2</sub>/t.km para cargas de longa distância, e de 203 g de CO<sub>2</sub>/t.km, para curtas distâncias. Comparativamente aos valores nacionais

levantados, esses fatores são considerados conservadores. Essa postura pode ser justificada pelo objetivo de que seja estabelecida uma ferramenta de utilização internacional que contemple o maior número de características de transporte.

A quantificação de emissões por transporte traz diversas incertezas, em função dos parâmetros que a compõem, como veículos utilizados, peso da carga, consumo médio de combustível e emissão de dióxido de carbono do combustível, sendo que cada parâmetro embute faixas de resultados. Os diferentes valores encontrados em ferramentas de cálculo e na literatura explicitam a variação na quantificação, assim como a limitação da aplicação direta de dados internacionais.

### Carga transportada

A faixa de variação no cálculo de peso da carga relaciona densidade do material e características de umidade da madeira transportada. No transporte entre serraria e mercado consumidor, a madeira foi considerada em equilíbrio com a umidade do ar. Admitindo-se secagem natural, a umidade mínima seria de equilíbrio com o ar, que depende de temperatura e umidade relativa. A madeira pode não estar completamente seca ao ser transportada, o que aumenta o peso da carga, assim como chuvas podem alterar rapidamente seu teor de umidade.

Considerou-se que a densidade da madeira serrada estaria entre 0,52 t/m<sup>3</sup> e 1,09 t/m<sup>3</sup>, com mediana de 0,79 t/m<sup>3</sup>, em umidade entre 12% e 15%, conforme exposto na Tabela 4. Os valores de densidade foram extraídos do levantamento de Zenid (2009), que lista as densidades aparente e verde de diversas espécies de madeiras brasileiras de bom desempenho na construção civil. Foram selecionadas apenas as espécies pertencentes ao bioma amazônico para a quantificação da faixa de variação da densidade. No caso de informações por volume de carga, foi realizada a conversão para unidade de massa, com base nos dados de densidade apresentados.

Tabela 4 - Densidade aparente, básica e verde para diferentes espécies da região amazônica

	Aparente t/m <sup>3</sup>	umidade	Verde t/m <sup>3</sup>
Angelim-vermelho	1,09	15%	1,26
Cedrorana	0,52	12%	0,90
<b>Mediana</b>	<b>0,79</b>		<b>1,14</b>

Fonte: Zenid (2009).

Para a quantificação do carbono incorporado, o valor de densidade verde foi empregado considerando que 40% do peso da madeira é água (ARAÚJO *et al.*, 1999) e 49% é parcela de carbono na biomassa seca (INTERGOVERNAMENTAL..., 2006b); 44/12 é a fração de conversão entre carbono (peso molecular 12) e dióxido de carbono (peso molecular 44). Portanto, para a estimativa do carbono contido na biomassa foi excluído o fator de água (41% a 44% da madeira verde; adotou-se 40%) e de outros componentes químicos (51% a 53% da biomassa seca; adotou-se 51%). Os cálculos primários de emissões de CO<sub>2</sub> foram realizados em quilos ou toneladas.

### Equações básicas

As equações básicas compilam as variáveis apresentadas de emissão de CO<sub>2</sub> para transporte da madeira serrada. A emissão total pode ser estimada por dados de densidade e volume da madeira, distância de transporte, multiplicando-os por fator de consumo de combustível pelo veículo, por unidade de carga transportada, e fator de emissão do combustível, por litro; ou fator de emissão, por unidade de carga transportada (Eq. 1).

$$E_{CO_2} = dV L f_c f_{e(L)} = dV L f_{e(t.km)} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$E_{CO_2}$  é a massa emitida de dióxido de carbono, em t;

$d$  é a densidade verde para toras ou aparente para madeira serrada, em t/m<sup>3</sup>;

$V$  é o volume da carga, em m<sup>3</sup>;

$L$  é a distância percorrida, em km;

$f_c$  é o fator de consumo, em L/t.km;

$f_{e(L)}$  é o fator de emissão do combustível, em tCO<sub>2</sub>/L; e

$f_{e(t.km)}$  é o fator de emissão de dióxido de carbono por tonelada-quilômetro de carga transportada, em tCO<sub>2</sub>/t.km.

## Resultados

### Distâncias típicas brasileiras

Do total de deslocamentos, constantes na base de dados de madeira transportada com autorização do Ibama (2007), 24.917 registros foram admitidos como transporte rodoviário. A distribuição da quantidade de registros, por faixas de distância, está expressa na Figura 2. Grande parte do volume de madeira serrada, com origem na Amazônia, percorreu entre 1.500 e 3.000 km para atingir o mercado consumidor, ressaltando-se que um número maior de deslocamentos pode existir ao longo do processo produtivo. A distância média de transporte, ponderada pelo volume, entre os registros assumidos como rodoviários, foi de 1.956 km. O maior deslocamento identificado, entre Acrelândia (AC) e Chuí (RS), apresenta a distância de 4.362 km.

Identificou-se, a partir da análise da base de dados DOF (IBAMA, 2007), que grandes volumes de madeira serrada são destinados a cidades portuárias, o que pode significar que parte da madeira terá agregado mais um deslocamento, provavelmente de destino internacional, através de navios de carga.

Na literatura, a distância de transporte de produtos de madeira apresenta de 220 km a 250 km, relativa a estudo na Noruega, sendo o tipo de transporte, não explicitado na referência primária, assumido pelo autor como caminhão (FOSSDAL, 1995<sup>3</sup> *apud* GUSTAVSSON; SATHRE, 2006); e de 250 km a 350 km, em estudo na Suécia (BJÖRKLUND; TILLMAN, 1997<sup>4</sup> *apud* GUSTAVSSON; SATHRE, 2006). Os valores denotam a diferença entre países quanto à distância percorrida com produtos de madeira.

<sup>3</sup>FOSSDAL, S. *Energi- og miljøregnskap for bygg* [Energy and Environmental Accounts of Building Construction]. Oslo: The Norwegian Institute of Building Research, 1995. Report 173.

<sup>4</sup>BJÖRKLUND, T.; TILLMAN, A-M. *LCA of Building Frame Structures: environmental impact over the life cycle of wooden and concrete frames*. Gothenburg: University of Technology, 1997. Technical Environmental Planning Report 2, Chalmers.



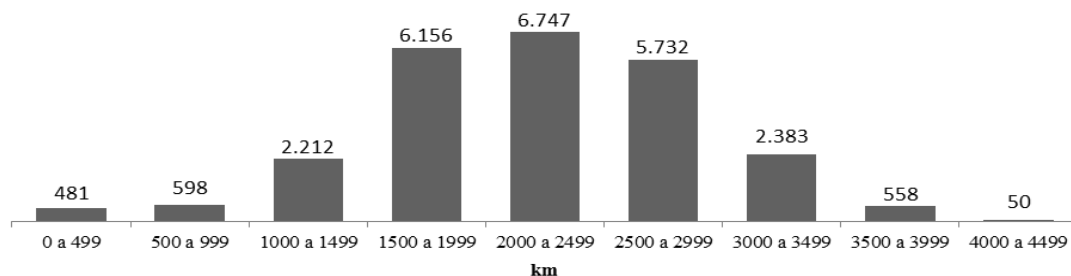


Figura 2 - Histograma do número de registros de origem amazônica, a partir das distâncias de transporte da madeira serrada

Fonte: Ibama (2007) e Google Maps (2011a).

Tabela 5 - Principais estados de origem da madeira serrada amazônica com transporte rodoviário (admitido em estudo)

Origem	Volume (m <sup>3</sup> )	%	Distância (km)*
Pará	2.108.299	28	1.886
Mato Grosso	1.568.333	21	1.977
Rondônia	1.172.907	15	2.413
PA + MT + RO	4.849.539	64	2.043
<b>Subtotal rodoviário</b>	<b>5.322.451</b>	<b>70</b>	<b>1.956</b>
<b>Subtotal Origem Amazônica</b>	<b>6.135.840</b>	<b>81</b>	
Total Brasil	7.609.903	100	

Nota: \* Valores de distância calculados por meio de média ponderada, por volume de carga transportada.

Fonte: Ibama (2007) e Google Maps (2010a).

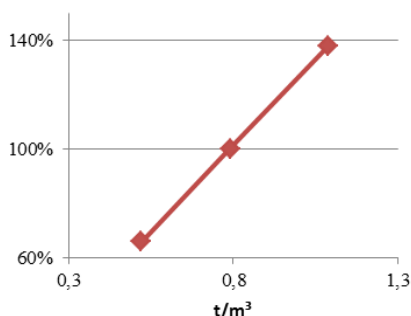


Figura 3 - Análise de sensibilidade da emissão de CO<sub>2</sub>, em função da densidade da madeira

Conforme pode ser acompanhado na Tabela 5, de cerca de 7.610 mil metros cúbicos de madeira serrada transportados com DOF no Brasil, 6.136 x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> (81%) tiveram origem nos estados da região amazônica (GOOGLE, 2011a; IBAMA, 2007). Destacando registros assumidos como transporte rodoviário, o volume foi de 5.322 x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>. Os estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia forneceram 64% do total de madeira nativa. A madeira serrada transportada por rodovias com origem no Pará percorreu, em média, 1.886 km; partindo do estado do Mato Grosso, foi transportada por 1.977 km; e de origem em Rondônia, por 2.413 km (GOOGLE, 2011a; IBAMA, 2007).

Os principais estados de destino rodoviário foram São Paulo, que absorveu 1.127 mil metros cúbicos

(18,38%); Paraná, com 557 x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> (9,07%) e Minas Gerais, que recebeu 518 x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> (8,44%). Interno à região amazônica, o estado do Pará figurou como destino de 1.011 x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>, considerando vias terrestres e fluviais, sendo 65% originados em municípios do próprio estado, valor provavelmente influenciado pela exportação (IBAMA, 2007).

### Influência da densidade da madeira serrada

A densidade influencia na massa transportada e, por consequência, na emissão de CO<sub>2</sub>. A densidade aparente da madeira nativa é bastante variável, de 0,52 t/m<sup>3</sup> a 1,09 t/m<sup>3</sup>. A Figura 3 ilustra a diferença de emissão de CO<sub>2</sub> em função da densidade. A

densidade média, 0,79 t/m<sup>3</sup>, corresponde a 100%. Espécies como ipê, maçaranduba, angelim e jatobá, bastante comercializadas por sua alta densidade e qualidade de material, implicam maior emissão de CO<sub>2</sub> devido a seu peso, se comparadas às espécies de menor densidade. Considerando a saturação de água na madeira, o ideal seria o transporte de madeira com umidade em equilíbrio com a umidade do ar. Madeiras verdes elevam o impacto na emissão de CO<sub>2</sub>, pois há deslocamento de massa de água, incorporada ao peso da madeira.

### Influência do fator de emissão de CO<sub>2</sub> do transporte

A variação do fator de emissão é resultado de diferentes padrões de consumo de combustível, por tonelada transportada, resultado de fatores como eficiência do veículo, condições de estradas, velocidade média, carga transportada, hábitos dos condutores, entre outros. A diferença entre o

melhor e o pior cenário pode incrementar as emissões em até 400%, conforme a Figura 4. O fator de emissão médio, de 37 g de CO<sub>2</sub>/t.km, corresponde a 100%. Assim, é desejável obter medidas diretas das emissões associadas ao transporte.

As incertezas têm impacto significativo nas emissões calculadas. A Figura 5 representa a evolução da geração de CO<sub>2</sub> no deslocamento, em função do fator de emissão, por tonelada-quilômetro. Tomando-se como exemplo o transporte de madeira com um caminhão modelo C, carregado com 35 toneladas de madeira (PBTC ~50 t), para cada 1.000 km percorridos, seriam totalizados 50.000 t.km. Corresponde à faixa de geração de 640 a 2.530 kg de CO<sub>2</sub>, por metro cúbico, de acordo com as características de transporte. A emissão de CO<sub>2</sub> para distâncias maiores pode ser acompanhada na Figura 5.

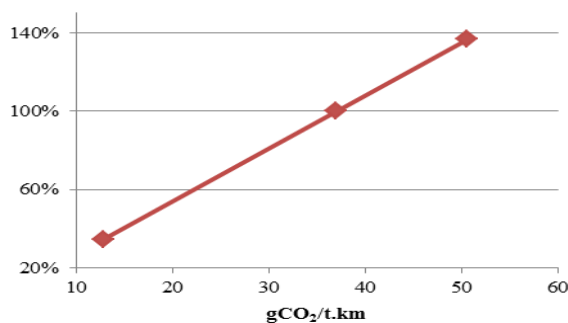


Figura 4 - Análise de sensibilidade da emissão de CO<sub>2</sub> em função do fator de emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada-quilômetro

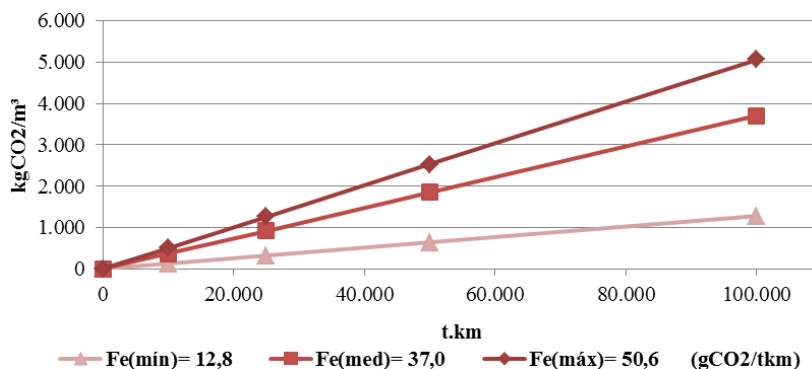


Figura 5 - Variação na geração de CO<sub>2</sub> em função do fator de emissão por tonelada-quilômetro

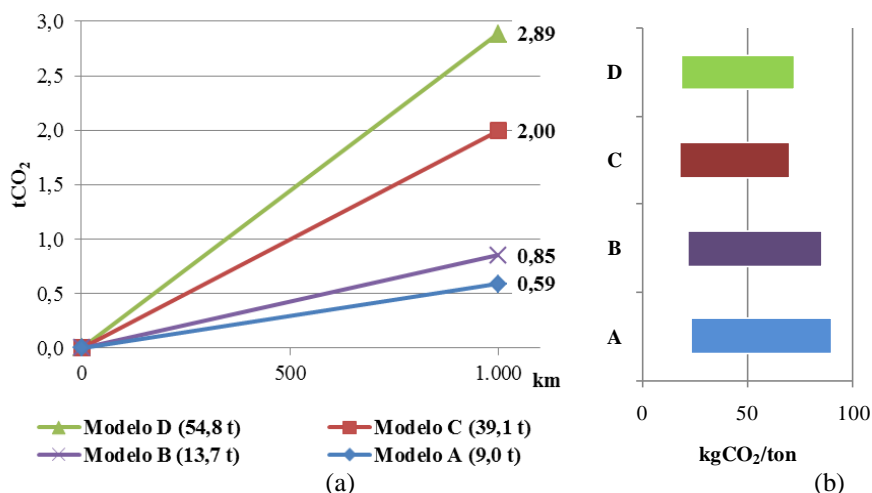


Figura 6 - (a) Emissão total (t de CO<sub>2</sub>), por modelo de caminhão, considerando carga máxima de transporte de madeira serrada e fator médio de emissão de CO<sub>2</sub>; e (b) faixa de emissão de CO<sub>2</sub>, por tonelada de carga, em função de diferentes fatores e modelos de caminhão

### Influência do modelo de veículo

Para cada modelo de veículo de carga selecionado para a pesquisa, foram calculadas as emissões totais de CO<sub>2</sub>, admitindo máxima capacidade de carga transportada (Figura 6a). Utilizou-se fator de emissão de 37 g de CO<sub>2</sub>/t.km. A cada 1.000 km percorridos, a emissão resultante seria de 0,59 t de CO<sub>2</sub> para o modelo A; 0,85 t de CO<sub>2</sub> para o modelo B; 2,0 t de CO<sub>2</sub> para o modelo C; e 2,89 t de CO<sub>2</sub> para o modelo D. A faixa de emissão de dióxido de carbono, para cada tonelada útil de carga transportada em 1.000 km, consta na Figura 6b.

Outra variável de influência sobre a emissão de CO<sub>2</sub> é a taxa de ocupação do caminhão. O consumo de combustível total é a soma do consumo associado ao transporte do próprio caminhão (tara) com o consumo associado ao transporte da carga. De forma geral, os caminhões com composição de carga (articulados) apresentam melhores resultados, pois admitem maior percentual de carga no peso total transportado. Admitindo-se os veículos com carga máxima, o percentual do peso do caminhão sobre o PBTC é de 43%, para o veículo modelo A; 40%, no modelo B; 27%, no modelo C; e 30%, no modelo D. As emissões de CO<sub>2</sub>, resultantes do transporte de diferentes quantidades de carga, estão ilustradas na Figura 7.

### Estoque líquido de carbono no transporte da madeira nativa

Para a quantificação do estoque de carbono na madeira nativa, utilizou-se a seguinte Equação 2:

$$\text{carbono total incorporado} = (\text{massa de madeira} - \text{umidade}) \times 0,49 \quad \text{Eq. 2}$$

Como exemplo, admite-se que cada 1 m<sup>3</sup> de jatobá serrado (0,96 t/m<sup>3</sup>; U=15%) tem incorporado em sua biomassa cerca de 400 kg de C, o que equivale a 1.466 kg de CO<sub>2</sub>. Após percorridos 1.000 km com uso do veículo modelo C, com base em sua capacidade máxima de carga e fator médio de emissão por tonelada-quilômetro, teriam sido gerados 53,8 kg de CO<sub>2</sub> por metro cúbico (Tabela 6).

O deslocamento no trecho descrito representou 3,7% de redução média do carbono incorporado. Diferentes resultados foram obtidos em função do fator de emissão por tonelada-quilômetro, expressos na Tabela 6. Segundo os fatores estabelecidos neste estudo, a redução mínima seria de 1,3%, no melhor cenário de transporte; a redução máxima atingiria 5,0% do carbono incorporado, o que pode ser verificado na Figura 8a. Reduções superiores de carbono estocado podem existir para maiores distâncias de deslocamento. Como parâmetro de comparação foi adicionado, na Figura 8, o fator de emissão de referência internacional de 203 g de CO<sub>2</sub>/t.km (GHG PROTOCOL, 2011), o que resultou em redução de 20,1% do carbono líquido. A mesma simulação foi realizada para madeira nativa de baixa densidade (cedrinho: 0,59 t/m<sup>3</sup>; U=15%). Houve redução do carbono estocado entre 1,5% e 6,1%, com dados do estudo; e de 24,4%, com dados do GHG Protocol (Figura 8b). O percentual de redução de carbono incorporado por metro cúbico de madeira transportada não reflete diferenças significativas para altas e baixas densidades, pois a densidade da madeira determina

o peso da carga e, conseqüente, o consumo de combustíveis e a emissão de CO<sub>2</sub>, havendo uma proporcionalidade com a redução do estoque.

A simulação de estoque líquido de carbono da carga total de madeira, transportada em cada modelo de caminhão, em razão do transporte do material, pode ser acompanhada na Figura 9. A quantificação de carbono inicial foi estimada com base na capacidade máxima de carga do veículo, umidade de 15% da madeira e fator de carbono 0,49. Em um percurso de 1.000 km, a carga de

madeira serrada do caminhão modelo A teve redução média de 3,75 t de C para 3,59 t de C; do modelo B, de 5,71 t de C para 5,47 t de C; do modelo C, de 16,29 t de C para 15,74 t de C; e do veículo modelo D houve redução de 22,82 t de C para 22,04 t de C. A faixa de variação, em função dos diferentes fatores de emissão de CO<sub>2</sub>/t.km, está demonstrada pelas linhas pontilhadas da Figura 9, seguindo a cor correspondente a cada modelo de veículo.

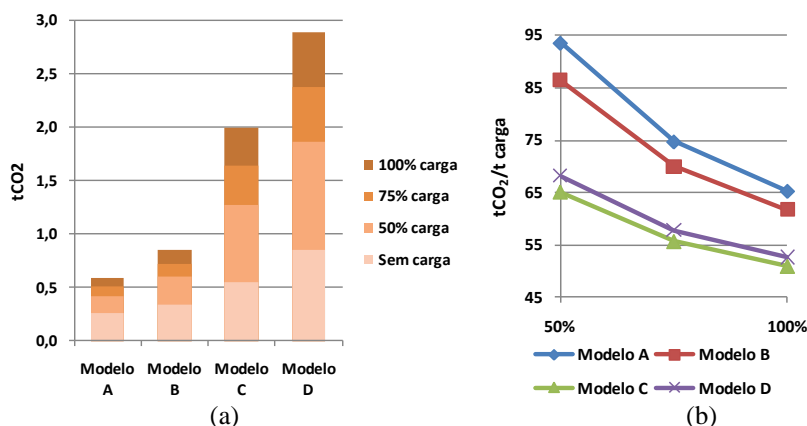


Figura 7 - Emissão de CO<sub>2</sub> em função da parcela de carga da capacidade máxima do veículo transportada em percurso de 1.000 km: (a) quantidade total; e (b) quantidade por carga útil

Tabela 6 - Emissões de CO<sub>2</sub> no transporte de madeira serrada jatobá, por 1.000 km

Volume Madeira	Densidade Jatobá	Peso da Carga	Peso do Veículo C	Peso Total	Distância	Fatores de Emissão	Emissão Total	Emissão por m <sup>3</sup>
m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	t	t	t	km	g de CO <sub>2</sub> /t.km	kg de CO <sub>2</sub> /t.km	kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
						12,8	558,1	<b>18,6</b>
30,0	0,96	28,8	14,8	43,6	1.000	37,0	1.613,2	<b>53,8</b>
						50,6	2.206,2	<b>73,5</b>

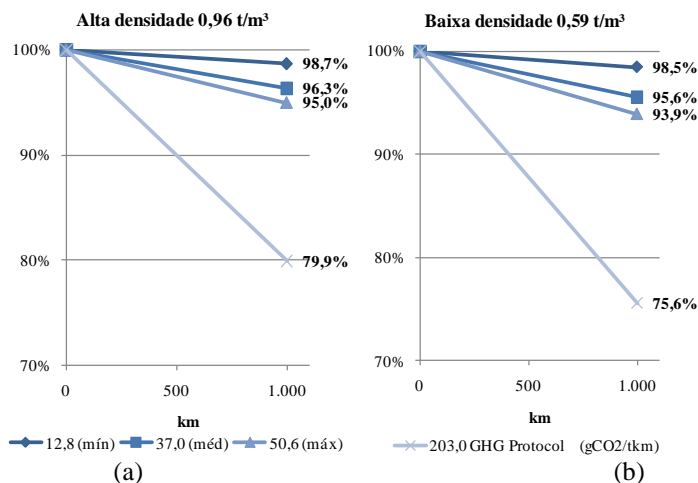


Figura 8 - Redução do estoque de carbono armazenado, para diferentes fatores de emissão, por t.km; (a) exemplo do jatobá; e (b) exemplo do cedrinho

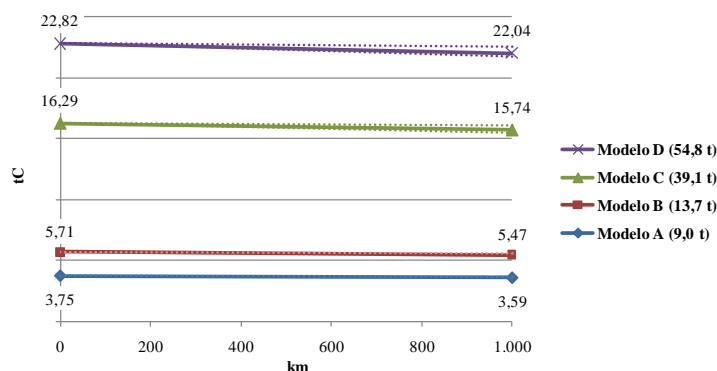


Figura 9 - Redução do estoque inicial de carbono (t de C), em função da distância percorrida por transporte rodoviário, para configurações de veículos dos modelos A, B, C e D

Nota: As linhas pontilhadas apresentam a faixa de máximo e mínimo estoque.

Tabela 7 - Estimativa da participação do transporte rodoviário da madeira nativa com origem na Amazônia, em 2007, com base nas emissões nacionais do transporte rodoviário, em 2005

Volume transportado por rodovia 2007	Massa média*	Distância média**	Fator de emissão	Emissão total***	Emissão rodoviário 2005	Participação madeira nativa
m <sup>3</sup>	t	km	g de CO <sub>2</sub> /t.km	t de CO <sub>2</sub>	t de CO <sub>2</sub>	%
5.322.451	4.204.736	1.956	12,8	142.119	122.765.000	0,12%
			37,0	410.812		0,33%
			50,6	561.813		0,46%

Nota: \* densidade 0,79 t/m<sup>3</sup>; \*\* distância média ponderada pelo volume; e \*\*\* incremento pelo peso do veículo: 35%.  
 Fonte: Ibama(2007), Google Maps (2011a) e Brasil (2010).

### Emissões nacionais de CO<sub>2</sub> do transporte de madeira amazônica

Para quantificar a faixa de emissão anual de CO<sub>2</sub> para transporte legal da madeira serrada internamente ao país, partiu-se da base de dados do Ibama (2007). Os volumes transportados foram convertidos admitindo-se densidade média da madeira de 0,79 t/m<sup>3</sup>, o que reflete o transporte de diferentes espécies, de alta e baixa densidade. Considerou-se a faixa entre máximo e mínimo fator de emissão por deslocamento e o incremento da emissão pelo peso do veículo em 35%.

Estima-se que a emissão de CO<sub>2</sub> do transporte de madeira legal da Amazônia tenha resultado na emissão total entre 142,1 e 561,8 mil t de CO<sub>2</sub>. A emissão nacional de dióxido de carbono no subsetor de transporte rodoviário (setor de energia), no ano de 2005, totalizou 122,8 Mt de CO<sub>2</sub> (MINISTÉRIO..., 2008). Supondo um cenário em que as emissões nacionais se mantivessem

estáveis entre 2005 e 2007, o transporte legal rodoviário de madeira nativa teria representado entre 0,12% e 0,46% do total emitido no subsetor rodoviário (Tabela 7).

Aplicou-se a mesma análise ao consumo de combustível diesel. O consumo nacional de diesel no setor rodoviário, em 2007, foi de 32,7 bilhões de litros (MINISTÉRIO..., 2008). A partir dos fatores de consumo entre 0,005 L/t.km e 0,017 L/t.km, o consumo total de diesel para transporte legalizado da madeira serrada nativa da Amazônia teria sido entre 53,1 e 183,4 milhões de litros. A demanda gerada pela madeira representou entre 0,16% e 0,56% do consumo rodoviário nacional de diesel (Tabela 8). Caso o componente de ilegalidade da madeira nativa seja de 80%, conforme estimado por Zenid (2009), entre 265,3 e 917,0 milhões de litros de diesel teriam sido queimados para transporte da madeira nativa, podendo ter gerado entre 710,6 e 2.809,1 mil t de CO<sub>2</sub>.

Tabela 8 - Estimativa da participação do transporte rodoviário da madeira serrada nativa, de origem Amazônica, com DOF, no consumo nacional de diesel por transporte rodoviário no Brasil, em 2007

Volume transportado por rodovia	Massa média*	Distância média**	Fator de consumo	Consumo total***	Consumo de diesel no transporte rodoviário	Participação da madeira nativa com DOF
m <sup>3</sup>	t	km	L/t.km	L	L	%
			0,005	53.054.326		0,16%
5.322.451	4.204.736	1.956	0,013	146.774.172	32.714.000.000	0,45%
			0,017	183.399.831		0,56%

Nota: \* densidade 0,79 t/m<sup>3</sup>; \*\* distância média ponderada pelo volume; \*\*\* incremento pelo peso do veículo: 35%  
 Fonte: Ibama (2007), Google Maps (2011a) e Ministério de Minas e Energia (2008).

Tabela 9 - Estoque inicial de CO<sub>2</sub> na madeira com origem amazônica; estimativa de emissão de CO<sub>2</sub> por transporte rodoviário e estoque líquido de CO<sub>2</sub>, para 2007

Volume total	Volume de uso permanente	Carbono armazenado*	CO <sub>2</sub> armazenado	Volume transportado por rodovia	Emissão total***	Estoque líquido CO <sub>2</sub>
m <sup>3</sup>		t de C	t de CO <sub>2</sub>	m <sup>3</sup>	t de CO <sub>2</sub>	t de CO <sub>2</sub> %
					142.119	5.187.793 97,3%
6.135.840	4.417.805	1.453.612	5.329.912	5.322.451	410.812	4.919.100 92,3%
					561.813	4.768.099 89,5%

Nota: \* densidade 0,79 t/m<sup>3</sup>; 15% água incorporada; 0,49 carbono na biomassa seca em estufa  
 Fonte: Ibama (2007), Zenid (2009), Araújo *et al.* (1999) e Intergovernmental Panel on Climate Change (2006a).

### Estoque potencial de carbono em produtos da madeira nativa

Para o cálculo do estoque potencial de carbono referente à madeira originária da Amazônia, computada a partir da base de dados de 2007 do Ibama, admitiu-se como estoque apenas a madeira destinada a usos permanentes<sup>5</sup>. Considerando o uso temporário como a quantidade de madeira que gerará carbono atmosférico, por queima ou degradação, em curto período, isso não foi caracterizado como estoque. Estima-se que 72% do volume pode ser assumido como uso permanente (SOBRAL *et al.*, 2002), ou seja, cerca de 4.400 m<sup>3</sup> da madeira serrada, o que equivale a 5.330 mil t de CO<sub>2</sub> armazenados. Conforme a Tabela 9, subtraindo a emissão de CO<sub>2</sub> por transporte rodoviário, o estoque líquido potencial de carbono do material, para o ano de 2007, estaria na faixa de 4.768 a 5.188 x10<sup>3</sup> t de CO<sub>2</sub>. A aplicação do fator de emissão do GHG Protocol à mesma parcela resultou na emissão, por transporte, de 2.254 t de CO<sub>2</sub>, e estoque líquido de 3.076 x10<sup>3</sup> t de CO<sub>2</sub>, o que corresponderia a 58% do estoque inicial.

Os valores citados são estimativas de incremento anual no estoque de carbono armazenado na madeira serrada nativa, sob o enfoque isolado da redução por transporte. Demais fatores do processo produtivo da madeira nativa podem reduzir o estoque, como outros deslocamentos, queima ou degradação de resíduos.

### Conclusão

As distâncias percorridas nacionalmente com produtos de madeira serrada, entre serraria e mercado consumidor, geram consumo energético de fontes fósseis e, portanto, emissão de dióxido de carbono. A quantificação do CO<sub>2</sub> gerado é relevante para a estimativa de estoque líquido de carbono na madeira, avaliando seu potencial de estocar carbono na construção civil.

Há diversas variáveis que podem determinar impactos, expressos em CO<sub>2</sub>, no transporte da madeira nativa: distância de deslocamento; densidade e umidade da madeira; características de trajeto; consumo de combustível do veículo; e teor de carbono do combustível.

No Brasil, a madeira serrada originária da Amazônia acompanhada de Documento de Origem Florestal (DOF) do Ibama é deslocada por longas distâncias. A média quantificada foi de 1.956 km,

<sup>5</sup> São usos de longa duração, como casas pré-fabricadas, estruturas de telhado, pisos, forros, esquadrias, mobiliário, entre outras aplicações.

para dados de 2007. Entre os deslocamentos registrados na base de dados do Ibama, não foram identificados casos de neutralização do estoque de carbono, em função do transporte, a partir dos fatores de consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub> adotados no trabalho. Demais deslocamentos da madeira serrada, como transporte após beneficiamento, não foram explorados; entretanto, a identificação de destinos em cidades portuárias leva a pressupor a possibilidade de deslocamentos posteriores, provavelmente de destino internacional, por meio de navios de carga.

Com o objetivo de contribuir para estimativas de emissão de CO<sub>2</sub> por transporte da madeira, foram apresentadas duas equações básicas, o que pode pautar a seleção de espécie de madeira e sua localidade de origem por profissionais e consumidores. Foram disponibilizados dados para sua aplicação, como faixa de consumo de combustível para caminhões de carga em condições brasileiras, de 0,005 L/t.km a 0,017 L/t.km; e faixa de fator de emissão por tonelada-quilômetro, entre 12,8 g de CO<sub>2</sub>/t.km e 50,6 g de CO<sub>2</sub>/t.km. As informações fornecidas podem ser aplicadas ao transporte de qualquer tipo de carga por modal rodoviário, não sendo restritas ao caso da madeira nativa.

Estimou-se que condições favoráveis de transporte reduziram o carbono da madeira em 1,3%, a cada 1.000 km, e que veículos ineficientes e percursos em más condições podem reduzir em até 5,0% para a mesma distância. Com base na referência internacional GHG Protocol, a redução pode ser superior a 20%, o que indica que quantificações com uso dessa ferramenta podem estar superestimadas. A partir do recorte e variáveis adotadas no estudo, entre 4,77 e 5,19 x 10<sup>6</sup> t de CO<sub>2</sub> teriam sido potencialmente estocados caso o total de madeira serrada nativa transportada com DOF fosse destinada a usos de longo prazo.

É importante ressaltar que os intervalos apresentados nos resultados refletem as diversas variáveis e as incertezas embutidas em cada parâmetro, com a intenção de incorporar as diferentes características de transporte. O uso de amplos intervalos fornece estimativas aproximadas do consumo de combustível, emissão de CO<sub>2</sub> e redução do estoque de carbono. Levantamentos detalhados de transporte da madeira, visando ao aprimoramento dos dados, seriam necessários para reduzir a margem de incertezas.

## Referências

ARAÚJO, T. M. *et al.* A Tropical Rainforest Clearing Experiment by Biomass Burning in the State of Pará, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 13, p. 1991-1998, 1999.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético**: relatório de referência. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2010.

DEPARTAMENTO Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Limites Legais**, 2011. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/rodovias/pesagem/qfv%20pdf.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

ECOLOGICAL Transport Information Tool. **EcoTransIT Calculator**. Disponível em: <[www.ecotransit.org](http://www.ecotransit.org)>. Acesso em: 16 jan. 2011.

GHGPROTOCOL. **Cross Sector Tools**. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. *et al.* Comparative Environmental Assessment of Wood Transport Models: a case study of a Swedish pulp mill. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 11, p. 3530-3539, 2009.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <[www.maps.google.com.br](http://www.maps.google.com.br)>. Acesso em: 20 jan. 2011a.

GOOGLE. **Google Images**. Disponível em: <<http://www.google.com.br>>. Acesso em: 06 jan. 2011b.

GOOGLE. **Google Videos**. Disponível em: <<http://video.google.com.br>>. Acesso em: 08 jan. 2011c.

GUERRA Complementos Rodoviários. **Linha Carga Seca**. Disponível em: <[http://www.aguerra.com.br/\\_uploads/produtos/guerra/download/portugues/Carga%20Seca.pdf](http://www.aguerra.com.br/_uploads/produtos/guerra/download/portugues/Carga%20Seca.pdf)>. Acesso em 17 jan. 2011.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Variability in Energy and Carbon Dioxide Balances of Wood and Concrete Building Materials. **Building and Environment**, v. 41, n. 7, p. 940-951, 2006.

GUSTAVSSON, L.; ERIKSSON, L.; SATHRE, R. Costs and CO2 Benefits of Recovering, Refining and Transporting Logging Residues for Fossil Fuel Replacement. **Applied Energy**, v. 88, n. 1, p. 192-197, 2011.

HEALEY, S. P. *et al.* Changes in Timber Haul Emissions in the Context of Shifting Forest Management and Infrastructure. **Carbon Balance and Management**, v. 4, n. 9, 2009.

INSTITUTO Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios Documento de Origem Florestal**. 2007. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/recursos-florestais/documentos/relatorios-dof>>. Acesso em: 14 out. 2010.

INSTITUTO Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites Sistemas Prodes, Deter, Degrad e Queimadas 2007-2008**. 2008. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio\\_Prodes2008.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2010.

INTERGOVERNAMENTAL Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Suíça: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006a. Volume 2: Energy.

INTERGOVERNAMENTAL Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Suíça: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006b. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

KAMAKATÉ, F.; SCHIPPER, L. Trends in Truck Freight Energy Use and Carbon Emissions in Selected OECD Countries from 1973 to 2005. **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 3743-3751, 2009.

LIPASTO. **Emission Calculation System**. Disponível em: <<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kapptiee.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

MINISTÉRIO de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008**: ano base 2007. Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, 2008.

NÄTVERKET FÖR TRANSPORTER OCH MILJÖN. **NTM Calculator**. Disponível em: <[www.ntmcalc.se](http://www.ntmcalc.se)>. Acesso em: 17 jan. 2011.

OLIVA, J. A. B. **Cenário Atual do Transporte Hidroviário Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/palestras/Mar0817PiracicabaAlexOliva.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

PEREIRA, D. *et al.* **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém, PA: Imazon, 2010.

RUZZENENTI, F.; BASOSI, R. Evaluation of the Energy Efficiency Evolution in the European Road Freight Transport Sector. **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 4079-4085, 2009.

SOBRAL, L. *et al.* **Acertando o Alvo 2**: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. 2002. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br/arquivos/18432.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2011.

TRANSPORTE Mundial. Seção Teste. Motor Press Brasil, dezembro 2010. Disponível em: <<http://transportemundial.terra.com.br/>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

VOLVO. **Volvo Caminhões Brasil**. Disponível em: <<http://www.volvo trucks.com/trucks/brazil-market/pt-br/pages/home.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2011.

ZENID, G. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

## Agradecimentos

Érica Ferraz de Campos agradece à CAPES, pela bolsa de mestrado; Katia R. G. Punhagui agradece ao Programa EBWII Erasmus Mundo, pela bolsa de doutorado; Vanderley M. John, é bolsista de Produtividade do CNPq. Agradecimentos às empresas madeireiras, por prover informações de transporte; ao Prof. Dr. Sérgio Almeida Pacca (EACH-USP), pela contribuição na aplicação da metodologia; ao Vinicius John, da 3WSistemas, pelo software para quantificação das distâncias entre municípios; ao Prof. Dr. Fernando Seixas (ESALQ-USP) e a Estevão do Prado Braga, da WWF Brasil, pelo fornecimento de informações.

**Revista Ambiente Construído**  
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)