



**1<sup>st</sup>**  
INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

**IV**  
SEMANA PAULISTA DE P+L  
CONFERÊNCIA PAULISTA DE P+L

## Determinação das emissões e estoque de CO<sub>2</sub> em uma plantação comercial de bambu

Luiz Ghelmandi Netto, Biagio F. Giannetti, Cecília M. V. B. Almeida,  
Sílvia H. Bonilla

Universidade Paulista, São Paulo, luiznetto@unip.br

---

### Resumo

Este estudo quantifica as emissões e estoques de CO<sub>2</sub> em uma plantação comercial de bambu. A espécie de bambu analisada é a *Bambusa vulgaris*, principal espécie da planta cultivada no nordeste do Brasil.

Os insumos de mão-de-obra não foram levados em consideração devido ao fato de sua emissão de CO<sub>2</sub> não ser determinante para o processo.

Neste estudo foram considerados dois tipos de cenário para a elaboração do balanço de CO<sub>2</sub>, e em ambos a quantidade de CO<sub>2</sub> capturada na plantação de bambu supera a quantidade liberada pela plantação em questão.

*Palavras-chave:* CO<sub>2</sub>, bambu, plantação comercial de bambu, emissão e estoque de CO<sub>2</sub>.

---

### 1. Introdução

O Bambu pertence à família das gramíneas, com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1.000 espécies espalhadas pelo mundo, localizadas em sua maioria na Ásia e América (GRUPO ITAPAGÉ, 2007). O bambu é empregado em diversos setores econômicos, entre eles: gastronomia, construção, medicina, agricultura, produção de papel, produção de energia elétrica, etc.

Além de todas estas atividades que o bambu pode exercer, ele ainda pode ser utilizado como um seqüestrador de carbono. Pelo fato de o bambu ser uma planta perene, ele consegue armazenar uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> em um curto espaço de tempo.

No Brasil o bambu é cada vez utilizado por engenheiros, arquitetos e designers, porém ainda não possui um uso consolidado como o eucalipto e o pinus. Apesar do grande trabalho que vem sendo feito com a planta, o bambu ainda é visto como a "madeira dos pobres" (GRUPO ITAPAGÉ, 2007).

A espécie *Bambusa vulgaris*, principal espécie cultivada no Nordeste do Brasil, é o alvo deste estudo. Grupo Industrial João Santos, 2000 calcula que a plantação de bambu possui vida útil de 25 anos, sendo dividida em duas fases: Implantação e Operação (estado estacionário da plantação). Na implantação, fase que corresponde aos dez primeiros anos, são feitos os maiores investimentos na plantação. Processos como adubação e aplicação de formicida são frequentemente

executados. Já na fase de operação, que vai do 11<sup>o</sup> ano até o final do empreendimento, as manutenções na plantação são feitas somente a cada corte, que é feito de 2 em 2 anos.

Este estudo, por intermédio de um balanço de massa, contabiliza a quantidade de CO<sub>2</sub> armazenada em uma plantação comercial de bambu que destina sua produção para a fabricação de papel e/ou produção de energia elétrica originada de sua biomassa.

## 2. Metodologia

Os dados para o cálculo de cada um dos recursos da plantação de bambu - e consequentemente do balanço de CO<sub>2</sub> - foram retirados do manual de custos elaborado por (Grupo Industrial João Santos, 2002), o maior utilizador da planta para fins comerciais no Brasil. Com exceção aos recursos de mão-de-obra - expressos em horas - todos os outros recursos empregados na plantação de bambu estão expressos em kg. Os recursos de mão-de-obra não são levados em consideração neste trabalho, por não exercerem papel determinante no balanço de CO<sub>2</sub>. A base de cálculo para este trabalho, bem como a do manual, é de 1 ha. A seguir é descrita toda a estrutura de cálculos necessária para a obtenção do balanço final de CO<sub>2</sub> em uma plantação de bambu

### 2.1. CO<sub>2</sub> Liberado

A plantação de bambu é dividida em dois períodos: fase de implantação e fase de operação (estado estacionário). Os cálculos da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na plantação de bambu foram organizados levando em consideração estas condições.

Para converter cada um dos valores dos recursos da plantação de bambu em quantidade de CO<sub>2</sub> liberada, os cálculos foram divididos em três etapas:

#### *1ª Etapa – Cálculo da Energia primária Incorporada (EPI).*

A Intensidade da Energia Primária Incorporada (IEPI) (MJ/kg) foi empregada para cada um dos recursos da plantação (Pellizzi, 1991). A IEPI foi calculada com base no consumo de fontes de energia convencionais em vários processos de produção agrícola. Cada um dos recursos empregados na plantação de bambu - tanto na fase de implantação quanto na fase de operação - foi multiplicado pela IEPI, assim obtivemos o valor da EPI (MJ ano<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) para cada um dos recursos.

#### *2ª Etapa – Cálculo da Quantidade de Óleo Equivalente (oe).*

Para converter os valores de EPI de cada um dos recursos da plantação de bambu em quilogramas de óleo equivalente empregados (kgoe), foi utilizada a equivalência: 1 kgoe = 42MJ (Pellizzi, 1991). Esta equivalência foi calculada com base na eficiência média de produção e distribuição da rede elétrica italiana (Pellizzi, 1991). Em trabalhos futuros esta equivalência será calculada de acordo com os padrões da rede elétrica brasileira.

### 3ª Etapa – Cálculo da Quantidade de CO<sub>2</sub> Liberada.

A última etapa do cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada para cada recurso empregado na plantação de bambu é utilizar a razão calculada por Brown & Ulgiati, 2002: 3,22kg CO<sub>2</sub>/kgoe. Esta razão multiplica cada recurso empregado na plantação de bambu – agora expressos em (kgoe ano<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>). Após este procedimento todos estes valores são somados e a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na plantação de bambu é obtida.

### 2.2. CO<sub>2</sub> Estocado

Isagi et al, 1997 calculou a quantidade de carbono estocada na plantação de bambu para a espécie *Phyllostachys pubescens*. A espécie em estudo é a *Bambusa vulgaris*, os valores de armazenamento de carbono podem ser utilizados devida a proximidade da quantidade total de biomassa entre as duas espécies (Kleinhenz and Midmore, 2001).

#### CO<sub>2</sub> Estocado no Subsolo (Fase de Implantação)

Para o calculo da quantidade de CO<sub>2</sub> estocada na porção subterrânea, foram utilizados os valores de biomassa e os percentuais de carbono contidos em cada uma das partes subterrâneas da planta, calculados em Isagi *et al.*, 1997. Para cada uma das partes de estoque subterrâneo foi utilizada a Equação 1.

$$Q_{CO_2} = Q_B \times \frac{\%C}{100} \times R_{CO_2/C} \quad (1)$$

Onde:

Q<sub>CO2</sub> – Quantidade de CO2 estocada;

Q<sub>B</sub> – Quantidade total de biomassa;

%C – Percentual de Carbono;

R<sub>CO2/C</sub> - Razão entre as massas molares do CO<sub>2</sub> e do Carbono.

Os valores obtidos para cada uma das partes calculadas são somados, obtendo-se o total de CO<sub>2</sub> estocado no subsolo. Foi definido que a parte subterrânea da plantação de bambu se desenvolve até o final da fase de implantação, sendo assim o crescimento das raízes (grossas e finas) se dá até o 10º ano.

#### 2.2.2. CO<sub>2</sub> Estocado no "Horizonte O" (Fase de Operação)

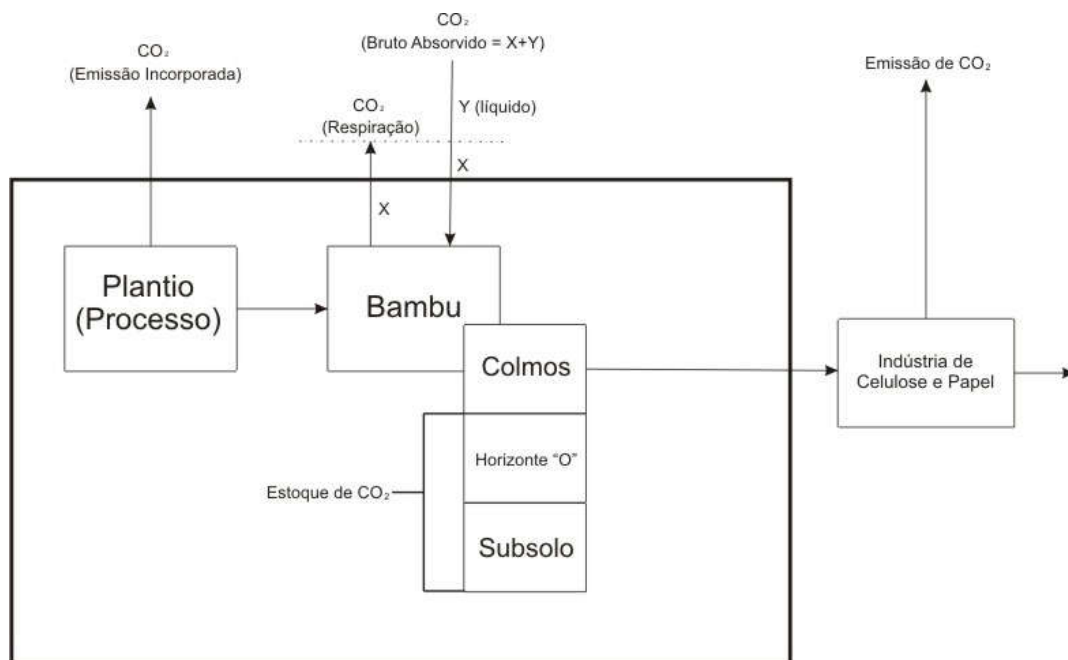
Para o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> estocada no "Horizonte O" foram utilizados os valores da produção líquida de carbono – calculados em Isagi *et al.*, 1997 - para cada uma das partes compõem este setor. Ao multiplicarmos cada um destes valores obtidos pela razão entre as massas molares do CO<sub>2</sub> e do Carbono, (R<sub>CO2/C</sub>) obteremos a quantidade de CO<sub>2</sub> estocada para cada uma das partes do "Horizonte O". Somando estes valores obteremos o total de CO<sub>2</sub> estocado no "Horizonte O".

Foi definido que a porção de CO<sub>2</sub> estocado correspondente ao "Horizonte O" inicia suas atividades no início do da fase de implantação da plantação, findando junto com a mesma. Devidas estas circunstâncias consideramos que a parcela de CO<sub>2</sub> estocada correspondente ao "Horizonte O" vai do 11<sup>o</sup> ao 25<sup>o</sup> ano da plantação.

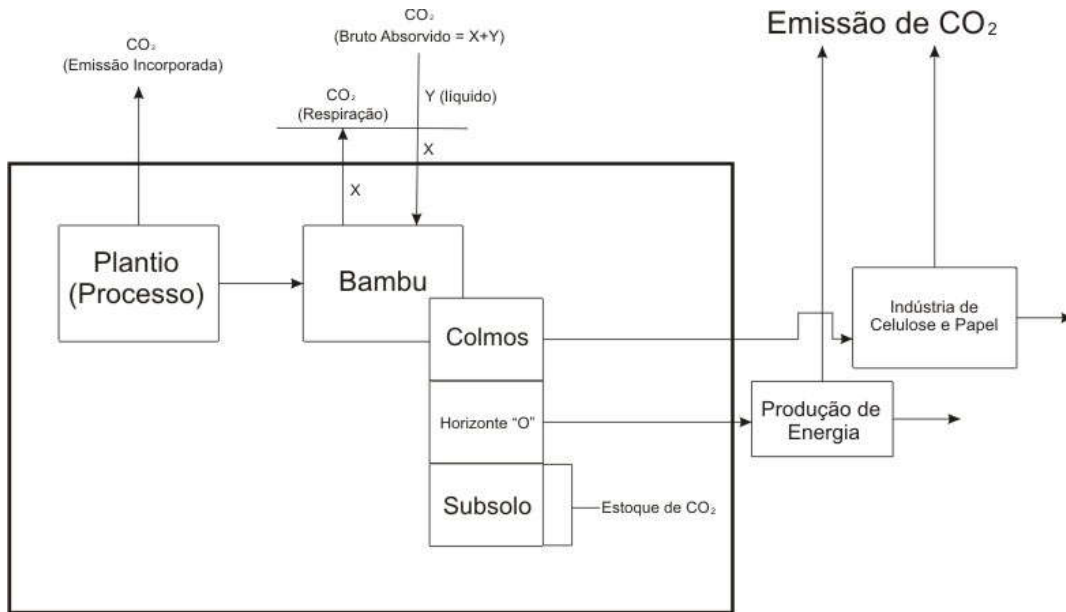
### 2.3. Balanço de CO<sub>2</sub>

As figuras 1 e 2 nos permitem visualizar as fronteiras do sistema em que o balanço de CO<sub>2</sub> foi calculado. Os colmos não foram considerados no balanço, pois os mesmos são destinados a atividades industriais (ex. produção de papel e/ou energia), não permanecendo no local de cultivo. Dois cenários foram considerados:

- Cenário 1: Balanço de CO<sub>2</sub> considerando que, exceto os colmos, todo o restante da plantação (Subterrâneo + "Horizonte O") permanece no local de cultivo.
- Cenário 2: Somente a parcela subterrânea da plantação de bambu permanece no local de cultivo. A parcela correspondente ao "Horizonte O" é destinada para outros fins.



**Figura 1 – Diagrama de blocos referente ao Cenário 1.**



**Figura 2 – Diagrama de blocos referente ao Cenário 2.**

### 3. Resultados

Na Tabela 1 é apresentado o balanço das quantidades de  $\text{CO}_2$  calculadas neste estudo. Na coluna 3 os valores de  $\text{CO}_2$  liberados na plantação de bambu estão listados, assim como os valores de  $\text{CO}_2$  estocados estão na coluna 4. No item 18 da tabela encontram-se os totais das quantidades liberadas e estocadas de  $\text{CO}_2$ .

Na parte final da tabela, são apresentados os dois tipos de situação consideradas no estudo, levando em consideração as condições anteriormente vistas nas figuras 1 e 2. No item 17 o balanço apresentado é correspondente a Figura 1 (Cenário 1), ou seja, a diferença entre os totais da tabela (item 16 colunas 1 e 2). O item 18 apresenta o balanço de  $\text{CO}_2$  proposto na Figura 2 (Cenário 2). Caso o produtor opte por retirar as folhas e galhos restantes no solo após a limpeza dos colmos encaminhados para o seu destino final, este será o balanço a ser considerado. Estas folhas podem ser encaminhadas, por exemplo, para a produção de energia por intermédio de queima de sua biomassa (Anselmo Filho et al, 2004).

**Tabela 1: Balanço de CO<sub>2</sub> na plantação de bambu, considerando as situações propostas nas Figuras 1 e 2.**

Item	Descrição	CO <sub>2</sub> liberado/ (kgCO <sub>2</sub> /ha)	CO <sub>2</sub> estocado/ (kgCO <sub>2</sub> /ha)	Percentual de CO <sub>2</sub> liberado/ (%)	Percentual de CO <sub>2</sub> estocado/ (%)
<b><u>Implantação (Ano 1 ao 10)</u></b>					
1	Diesel e Lubrificantes	4.897		27	
2	Trator (4x2) - Aço + Plástico/Borracha	16		>1	
3	Maquinários Agrícolas - Aço + Plástico/Borracha	19		>1	
4	Insumos				
	<i>Formicida</i>	4		> 1	
	<i>Herbicida Round-up</i>	58		> 1	
	<i>Fertilizante - Hiperfosfato natural</i>	426		2	
	<i>Calcário 1000,00</i>	>1		> 1	
	<i>Calcário Dolomítico</i>	1.150		6	
	<i>Fertilizante 14-20-14</i>	1.610		9	
5	Veículos - Aço + Plástico/Borracha	29		> 1	
<b>6</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> (Implantação)</b>	<b>8.209</b>			
7	Subsolo				
	<i>Rizomas</i>		29.926		10
	<i>Raízes Finas</i>		44.752		15
<b>8</b>	<b>Estoque de CO<sub>2</sub> (Implantação)</b>		<b>74.678</b>		
<b><u>Operação (Ano 11 ao 25)</u></b>					
9	Diesel e Lubrificantes	5.306		30	
10	Trator (4x2) - Aço + Plástico/Borracha	>1		> 1	
11	Insumos				
	<i>Fertilizante 14-20-14</i>	4.293		24	
12	Veículos - Aço + Plástico/Borracha	53		>1	
<b>13</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> (Operação)</b>	<b>9.653</b>			
14	"Horizonte O"				
	<i>Folhas</i>		123.600		41
	<i>Folhas Grandes</i>		59.400		19
	<i>Ramos</i>		47.400		16
<b>15</b>	<b>Estoque de CO<sub>2</sub> (Operação)</b>		<b>230.400</b>		
<b>16</b>	<b>TOTAL (Emissão/Estoque de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>17.862</b>	<b>305.078</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>17</b>	<b>BALANÇO DE CO<sub>2</sub> (Estoque - Liberado)</b>		<b>287.216</b>		
<b>18</b>	<b>BALANÇO DE CO<sub>2</sub> SEM "HORIZONTE O"</b>		<b>56.816</b>		

#### 4. Discussão

Após os cálculos e a obtenção do balanço de CO<sub>2</sub> para os dois cenários propostos no trabalho, pôde-se constatar que, a quantidade de CO<sub>2</sub> capturada na plantação de bambu, em ambos os cenários supera a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado. Outro ponto a ser considerado é a contribuição da parcela de CO<sub>2</sub> estocada pelo "Horizonte O", neste trabalho foi comprovado que esta é a maior parcela de estoque de CO<sub>2</sub> encontrada.

Em relação a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada, após os cálculos do balanço constatou-se que as maiores parcelas de emissão de CO<sub>2</sub> da plantação de bambu provém dos combustíveis fósseis e dos insumos agrícolas. Medidas para a diminuição destes podem ser extremamente importantes para diminuição da quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera, consequentemente aumentando a quantidade de estoque de CO<sub>2</sub> nas plantações de bambu.

Durante os cálculos do balanço de CO<sub>2</sub> para o Cenário 2, foi levantada a hipótese de que a parcela do "Horizonte O" da plantação, que nesse caso é destinada para fins industriais, fosse incluída no montante de CO<sub>2</sub> liberado. Após um novo estudo dos fluxos de CO<sub>2</sub> do Cenário 2, chegou-se a conclusão que caso isso fosse feito, uma dupla contagem estaria sendo realizada. Isso se deve ao fato de que esta parcela de CO<sub>2</sub> - parcela armazenada no "Horizonte O" destinada à produção de energia elétrica - já entra na plantação como CO<sub>2</sub> bruto absorvido.

#### 5. Referências Bibliográficas

Grupo Itapagé – Website: [http://www.itapage.com/html/materia\\_prima\\_p.htm](http://www.itapage.com/html/materia_prima_p.htm) - Consultado em Outubro/2007.

Grupo Industrial João Santos. Bambu, do plantio à colheita – Manual do fazendeiro florestal. Recife, Brasil; 2000

G. Pellizzi. Use of Energy and Labour in Italian Agriculture. Journal of Agriculture and Engineering Resources. Vol. 52 – Pg. 111-119 – 1992.

M. T. Brown, S. Ulgiati. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. Journal of Cleaner Production, Vol. 10 – Pg. 321-334 – 2002.

Y. Isagi, T. Kawahara, K. Kamo, H. Ito. Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. Plant Ecology. Vol 130 – Pg. 41-52 – 1997.

Pedro Anselmo Filho, Ossama Badr, Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. Applied Energy. Vol. 77 – Pg. 51-67 – 2004.

Volker Kleinhenz and David J. Midmore. Aspects of Bamboo Agronomy. Advances in Agronomy. Vol 74 – Pg. 99-145.