



Determinação dos fluxos de CO₂ de uma plantação comercial de bambu no Brasil: Oportunidades para a diminuição da emissão de CO₂

Luiz Ghelmandi Netto (LaFTA), luiznetto@unip.br

Biagio F. Giannetti (LaFTA), biafgian@unip.br

Cecília M. V. B. Almeida (LaFTA), cmvbag@unip.br

Silvia H. Bonilla (LaFTA), shbonilla@hotmail.com

LaFTA – Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Paulista, R. Dr. Bacelar, 1212, CEP 04026-002, São Paulo, Brasil.

Resumo: Devido a importância das mudanças climáticas para a sustentabilidade da sociedade humana, a necessidade de estudos que tenham como tema central o armazenamento de CO₂ é cada vez mais latente. De acordo com essa tendência, foi realizado um estudo que tem como tema principal a avaliação do potencial de mitigação da emissão global de CO₂ em plantações comerciais. Neste caso, o processo produtivo agrícola escolhido para estudo é uma plantação comercial de bambu visando a indústria de produção papelreira, localizada no nordeste do Brasil. Para uma melhor avaliação do comportamento da plantação em estudo, foram considerados três tipos de cenários. Estes cenários foram estudados para uma melhor avaliação das quantidades de CO₂ liberadas e estocadas ao longo dos 25 anos de vida útil da plantação, são eles: Cenário 01 – Comportamento florestal, Cenário 02 – Produção papelreira, Cenário 03 – Produção papelreira e geração de energia. Foram estudadas também alternativas para a diminuição da quantidade de CO₂ liberada pelos insumos gastos na plantação. Estas alternativas consistem na substituição do óleo diesel e fertilizante 14-20-14 por biodiesel e adubo orgânico, respectivamente.

Palavras-chave: Plantação comercial, bambu, emissão e estoque de CO₂, ferramenta.

1. Introdução

O foco principal do trabalho é a avaliação das quantidades de CO₂ liberadas e estocadas brutas em diferentes tipos de plantações. Neste caso o modelo escolhido para estudo foi uma plantação comercial de bambu voltada para a produção de papel. A espécie desta plantação é a *Bambusa vulgaris*, principal espécie cultivada no Nordeste do Brasil. De acordo com (GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS, 2000) a plantação de bambu possui vida útil de 25 anos.

Para tal finalidade, fez-se necessária a realização de todo o inventário da plantação em estudo. Sendo assim, todas as características e insumos utilizados ao longo dos 25 anos de vida útil foram levantados. A principal fonte de pesquisa para o levantamento destes dados foi o manual elaborado por (GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS, 2000).

De acordo com (GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS, 2000), a partir do 11º ano a plantação está totalmente adaptada ao local de plantio. De acordo com esta informação, a plantação de bambu foi dividida em três fases, são elas:

- **Implantação** – Corresponde aos três primeiros anos da plantação. Nesta fase processos como adubação, calagem, roço do mato e aplicação de formicida são frequentemente executados para que a plantação cresça sem a ausência de nutrientes e longe de pragas. É nesta fase que o primeiro corte dos colmos é realizado.



- Adaptação – Esta fase se dá entre o 4º e o 10º ano da plantação. Aqui os colmos já possuem idade para serem colhidos, respeitando o intervalo de dois em dois anos entre uma colheita e outra. Nesta fase, mesmo gerando colheita de colmos, a plantação não está totalmente adaptada ao local de plantio.
- Operação - Nesta fase, do 11º ao 25º ano, as manutenções na plantação são feitas somente a cada corte de colmos, que é feito de 2 em 2 anos. Vale destacar que é na fase de operação que a plantação de bambu está totalmente adaptada ao local de plantio, podendo assim atingir o ápice de sua produção anual.

Para uma melhor análise do comportamento da plantação e das quantidades de CO₂ estocada líquida, foram adotados três cenários para a destinação dos colmos, galhos e folhas provenientes da plantação ao longo dos 25 anos: Cenário 01 – Comportamento florestal; Cenário 02 – Produção de Papel; Cenário 03 – Produção de papel e geração de energia. Também foi realizado um comparativo entre as quantidades de CO₂ líquido estocado pela plantação de bambu (nos três cenários adotados) e as quantidades de CO₂ líquido estocado por diferentes tipos de plantação.

Além determinar as quantidades de CO₂ liberadas e estocadas (bruta e líquida), este trabalho apresenta alternativas para diminuição das emissões de CO₂ provenientes dos insumos empregados. Os principais insumos utilizados na plantação são o óleo diesel e o fertilizante 14-20-14. Para a substituição destes dois insumos é sugerida a utilização do biodiesel e/ou do esterco bovino curtido. Os índices de redução chegam a 75% do valor total de emissões provenientes dos insumos utilizados.

2. Metodologia

2.1. CO₂ Liberado

A base de cálculo adotada no trabalho para o cálculo das quantidades de CO₂ liberado e estocado bruto é de 1 ha, Para a quantificação do CO₂ liberado pela plantação, foram necessárias quatro etapas. São elas: Inventário de insumos e equipamentos; Cálculo da Energia Primária Incorporada (EPI); Cálculo da quantidade de óleo utilizada; Cálculo da quantidade de CO₂ liberada.

- *Inventário de insumos e equipamentos*

O manual de custos elaborado por (GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS, 2000), foi a principal fonte consultada para a realização do inventário das quantidades de insumos e equipamentos utilizados ano a ano durante toda a vida útil da plantação. Os recursos de mão-de-obra não serão levados em consideração neste trabalho, por não exercerem papel determinante nos cálculos das quantidades de CO₂ estocadas e liberadas.

- *Cálculo da Energia Primária Incorporada (EPI)*

Com exceção do óleo diesel - que será citado na próxima etapa - a Intensidade da Energia Primária Incorporada (IEPI), (expressa em MJ/kg), encontrada em (PELLIZZI, 1992), foi empregada para cada um dos recursos da plantação. A IEPI foi calculada com base no consumo de fontes de energia convencionais em vários processos italianos de produção agrícola (PELLIZZI, 1992). As quantidades de recursos foram multiplicadas pelas suas respectivas IEPI's, assim o valor da EPI (MJ/ha.ano) para cada um dos recursos foi encontrado.



- *Cálculo da quantidade de óleo utilizada*

Para o cálculo das quantidades de óleo utilizadas pelo óleo diesel, a 2ª Etapa não foi necessária. Os valores de óleo diesel utilizados na plantação seguiram o índice de equivalência encontrado em (PELLIZZI, 1992): 1 kg óleo diesel = 1,2 t de petróleo utilizado. Para os demais recursos as quantidades de óleo utilizadas foram obtidas a partir da multiplicação dos valores de EPI de cada um deles pelo poder calorífico superior do petróleo.

- *Cálculo da quantidade de CO₂ liberada*

A última etapa da determinação da quantidade de CO₂ liberada para cada recurso empregado na plantação de bambu é utilizar a Intensidade de Emissão de CO₂, índice encontrado em (BROWN & ULGIATI, 2002) (3,22kg CO₂/kgoe). Os valores de óleo utilizado cada insumo empregado na plantação (expressos em kgoe/ha.ano) são multiplicados por este índice. Após essa série de etapas, todas as quantidades de CO₂ liberadas pelos insumos são obtidas.

2.2. CO₂ Estocado Bruto

Para a quantificação do CO₂ estocado bruto pela plantação, foi necessária a realização de três processos distintos. São eles: Características da plantação; Percentuais e quantidades de biomassa; CO₂ estocado bruto pela plantação.

- *Características da Plantação*

O espaçamento do plantio das mudas foi o primeiro item atribuído à plantação. Foram adotadas como características iniciais da plantação o espaçamento de 1 m x 1 m, e o número inicial de colmos de 5000 colmos/ha.

De acordo com (SHANMUGHAVEL & FRANCIS, 1995) o número de colmos da espécie *Bambusa vulgaris* no 6º ano da plantação é quatro vezes maior do que número de colmos no 1º ano. Outro fator determinante na distribuição dos colmos é o fato de a plantação estar totalmente adaptada ao seu local de plantio a partir do 11º ano de vida (GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS, 2000). De acordo com esta observação, foi estimado que a plantação inicia o processo de adaptação ao seu local de plantio a partir do 5º ano, produzindo 2000 colmos/ha.

O corte do bambu nesta plantação foi feito de acordo com a idade dos colmos, ou seja, os colmos mais velhos eram retirados e os mais novos continuavam na plantação até atingirem idade satisfatória. A faixa etária mínima para a extração dos colmos é de três anos. As propriedades e características da plantação de bambu podem ser vistas nas tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1 – Propriedades físicas, por idade, dos colmos da plantação de bambu.

Características por Colmo	Idade dos Colmos/ (ano)						
	1	2	3	4	5	6	7
Altura/ (cm)*	120	243	426	543	628	844	885
Diâmetro/ (cm)*	0.95	1.15	2.43	3.10	4.10	4.89	4.88
Umidade/ (%)*	10.15	10.29	32.21	41.47	43.66	45.46	51.27
Espessura/ (cm)**	1.0	1.5	1.5	-	1.5	-	-
Densidade/ (g/cm ³)***	0.573	0.573	0.628	-	0.619	-	-

* Fonte: INBAR (2008); ** Estimativa feita a partir de PEREIRA, M. A. R.; BERVALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Editora Canal 6. Bauru-Brasil, p. 1-235. 2007; *** Fonte: AZZINI et al. (1987).



No 12º ano a plantação de bambu assume a mesma distribuição do 10º ano. No 13º ano a plantação de bambu assume a mesma distribuição do 11º ano. Este comportamento – alternância das características dos anos 10 e 11 - se sustenta até o final de sua vida útil (25º ano). Sendo assim fez-se desnecessária a inclusão da distribuição dos colmos a partir do 11º ano na tabela 2.

TABELA 2 - Distribuição dos colmos da plantação de bambu, dados de produção e massa seca ao longo de seus onze primeiros anos.

Idade da Plantação/ (ano)	Total de colmos por hectare	Distribuição dos colmos por idade							Produção/ (10 ³ kg/ha) ^a	Massa seca da produção de bambu por idade do colmo/ (10 ³ kg/ha) ^b
		Idade dos colmos / (ano)								
		1	2	3	4	5	6	7		
1	5000	5000	x	x	x	x	x	x	-	-
2	9000	4000	5000	x	x	x	x	x	-	-
3*	13000	4000	4000	5000	x	x	x	x	16.6	11.3
4	12000	4000	4000	4000	x	x	x	x	-	-
5*	14000	2000	4000	4000	4000	x	x	x	30.0	17.6
6	12000	2000	2000	4000	4000	x	x	x	-	-
7*	14000	2000	2000	2000	4000	4000	x	x	35.0	19.7
8	12000	2000	2000	2000	2000	4000	x	x	-	-
9*	14000	2000	2000	2000	2000	2000	4000	x	40.0	21.8
10	12000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	x	-	-
11*	14000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	45.0	12.2

a. Fonte: Grupo Industrial João Santos (2000); **b.** Do 3º ao 6º ano de idade os cálculos foram feitos empregando a equação: massa seca por idade do colmo = produção x (1 - fração de umidade). No 7º ano de idade: (produção 11º ano - (produção 9º ano/número de colmos colhidos 9º ano)*(número de colmos de 6 anos de idade colhidos no 11º ano))*(1 - fração de umidade). Dados de umidade retirados de Watanabe M. On the management of bamboo stands, with special reference to Japanese research. Disponível em: <http://www.inbar.int/publication/txt/tr05/a9-2.html>; [acesso em Março 2008]

*Anos em que as colheitas são realizadas. A partir do 11º ano (5º corte) a plantação entra em estado estacionário de produção. Os valores em negrito correspondem às quantidades de colmos coletadas.

TABELA 3 – Massa seca por colmo e por hectare para cada ano de idade dos colmos da plantação de bambu.

Massa seca colhida	Notas	Idade dos Colmos/ (ano)						
		1	2	3	4	5	6	7
/ (kg/colmo)	a	0.2	0.7	2.1	-	4.2	-	-
	b	-	-	2.3	4.4	4.2	5.5	6.1
/ (kg/ha)	c	369	1353	4151	8780	8459	10908	12183

a. Cálculo feito empregando a equação: massa = (espessura x densidade x diâmetro x altura x 3,14) x (1 - fração de umidade). Dados retirados da Tabela 1. Para o cálculo do valor do 2º ano foi admitida a mesma densidade do 1º ano; **b.** Cálculo feito empregando a equação: massa = (produção/número de colmos colhidos por idade) x (1 - fração de umidade). Dados de produção e número de colmos colhidos por idade retirados da Tabela 2; **c.** Cálculo feito empregando a equação: massa seca colhida (kg/ha) = produção de colmos no ano x massa seca colhida (kg/colmo). Para a obtenção destes valores foi considerado que a plantação estava no estado estacionário. Os cálculos foram realizados com os valores das colunas a e b, porém nos casos em que as duas colunas apresentaram valores os resultados foram os mesmos.



- *Percentuais e quantidades de biomassa*

Em (CHRISTANTY et al., 1996) são encontrados os percentuais totais de biomassa para cada componente da plantação de bambu, aos 16, 24, 36, 72 meses. Para os períodos não encontrados na literatura, estes valores encontrados foram utilizados obedecendo às seguintes configurações: Para o 1º ano foi utilizado o percentual de 16 meses; Para o 4º ano foi utilizado o percentual de 36 meses; Para o 5º e 7º anos foi utilizado o percentual de 72 meses. A partir daí, sabendo-se a quantidade de biomassa dos colmos e o percentual de biomassa para cada ano, foram calculadas as quantidades de biomassa do bambu para cada ano e componente da plantação.

- *CO₂ Estocado bruto pela Plantação.*

De acordo com (ANSELMO FILHO et al., 2004), a espécie *Bambusa vulgaris* possui 51,58% de carbono no peso total de sua biomassa. A partir dessa informação, os valores de biomassa obtidos foram multiplicados por este percentual para a obtenção da quantidade de carbono presente nos componentes do bambu a cada ano. Feito isso, a estes resultados multiplicou-se a razão entre as massas molares do CO₂ e do carbono para sabermos a quantidade de CO₂ estocada bruta pelos componentes do bambu a cada ano. Após isso os valores foram totalizados e divididos em duas partes:

- *Subterrânea:* Quantidade de CO₂ estocado pela parcela subterrânea da plantação. Corresponde às raízes e rizomas;
- *Acima do Solo:* Quantidade de CO₂ estocado pela parcela localizada acima do solo. Corresponde às folhas e galhos remanescentes do corte dos colmos.

2.3. CO₂ Liberado pela Respiração da Planta

A respiração libera 61% do total de CO₂ absorvido pela plantação (ISAGI et al., 1997). Os valores de CO₂ estocado bruto pela plantação foram multiplicados por este percentual, desta forma foram obtidos os valores do CO₂ liberado pela respiração da plantação.

2.4. Cenários estudados

Visando uma melhor aplicação da ferramenta para monitoramento dos fluxos de CO₂, três cenários foram criados:

- Cenário 01 – Comportamento Florestal: O sistema adota um comportamento semelhante a uma floresta de bambu, ou seja, não há cultivo;
- Cenário 02 – Indústria Papeleira: Os colmos colhidos são destinados a indústrias de produção de celulose e papel. Os galhos e folhas restantes continuam na plantação;
- Cenário 03 - Indústria Papeleira + Geração de Energia: Além do destino dos colmos no cenário 02, as folhas e galhos restantes após a colheita destes colmos é destinada a usinas de geração de energia elétrica.

Devido ao fato de que no cenário 01 a plantação de bambu adota um comportamento semelhante a uma floresta, o valor total de CO₂ estocado pelos colmos é contabilizado. Nos cenários 02 e 03, os colmos colhidos não foram considerados para os cálculos por serem destinados a atividades industriais (ex. produção de papel e/ou energia), não permanecendo no local de cultivo.

3. Resultados e Discussão

Nas figuras 1, 2 e 3 é possível visualizar as quantidades e os percentuais de CO₂ liberado (insumos e respiração) e estocado (brutas), após o levantamento dos dados necessários, conforme os procedimentos descritos na metodologia.

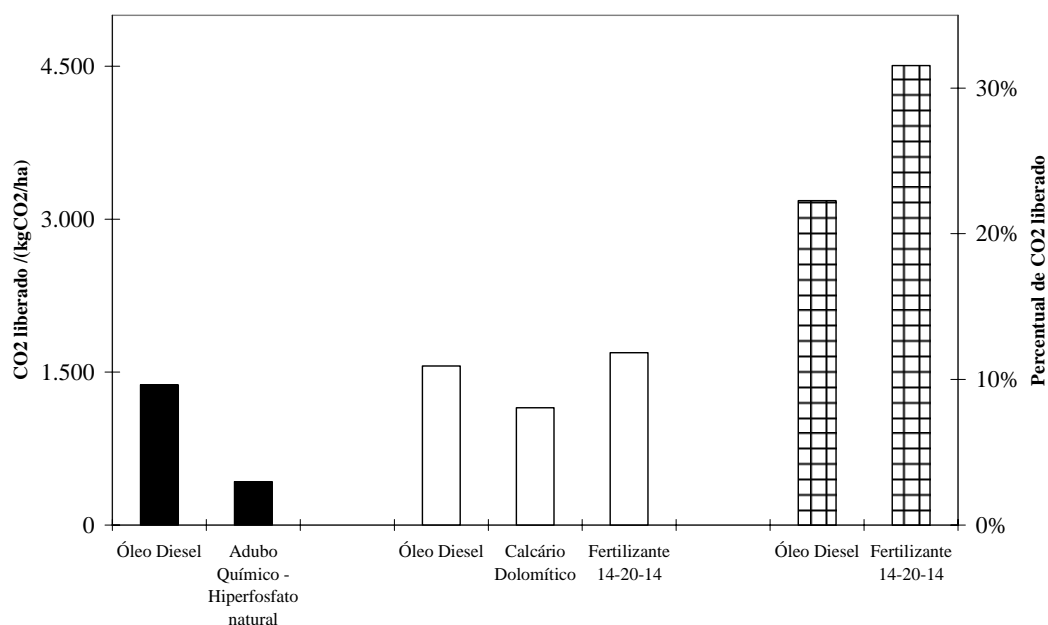


FIGURA 1 – Quantidade e percentual de CO₂ liberado pelos insumos gastos na plantação de bambu. Em preto: Período de Implantação; Em branco: Período de Adaptação; Quadriculado: Período de Operação.

No período de implantação pode-se ver que o óleo diesel é o responsável por praticamente toda a emissão de CO₂ do período de implantação: 10%. Os outros 3% ficam a cargo do adubo químico. Os outros componentes da fase de implantação completam os 13% devido a contribuírem com menos de 1% do total de emissões.

No período de adaptação, o fertilizante 14-20-14 se mostra o principal emissor de CO₂, com 12% do total. O óleo diesel vem logo em seguida com 11% do total de emissões do período. Para que a soma do percentual (32%) do estado de operação variável seja atingida, ficam faltando o calcário dolomítico (8%) e os demais componentes que representam menos de 1% do total.

No período de operação, novamente o fertilizante 14-20-14 aparece em primeiro lugar com 32% das emissões. O diesel com 23% e os demais componentes (menos de 1%) completam os 55% do total de emissões do período.

A figura 02 não contabiliza os colmos colhidos no cultivo do bambu. Estes valores serão utilizados posteriormente. Conforme dito anteriormente, a parcela estocada bruta de CO₂ é separada em duas parcelas: “subterrâneo” e “acima do solo” para todos os períodos de cultivo do bambu. No período de implantação, o rizoma mãe praticamente contabiliza o total da parcela de CO₂ estocada bruta, contribuindo com 3% dos 4% totais. Isso se deve ao fato de que no período de implantação a plantação está em seus primeiros anos de vida e tanto as raízes mais finas e os colmos estão em desenvolvimento.

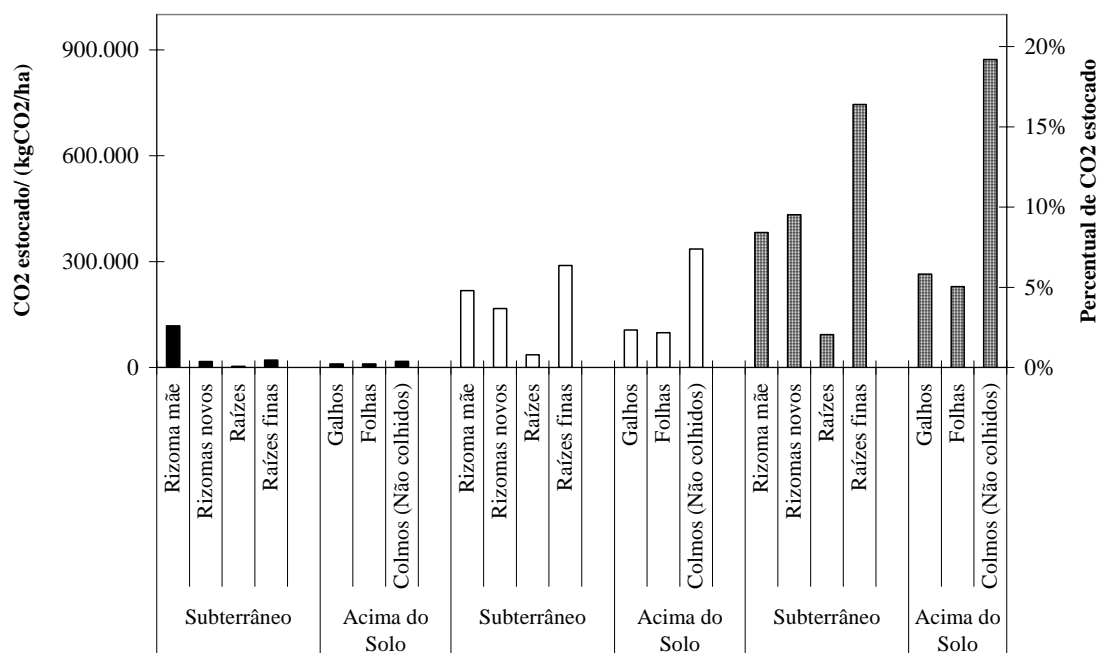


FIGURA 2 – Quantidade e percentual de CO₂ estocado pela plantação de bambu. Em preto: Período de Implantação; Em branco: Período de Adaptação; Quadrícula: Período de Operação.

No período de adaptação a parcela “subterrânea” continua sendo responsável pela maior parte do CO₂ estocado bruto, com 16% dos 28% totais. Na parcela “subterrânea” a distribuição do estoque bruto é muito equilibrada. As raízes finas têm o maior percentual (6%). O rizoma mãe, ao contrário do período de implantação vem em segundo lugar com 5%. Para que os 16% totais sejam atingidos, temos ainda os rizomas novos (4%) e as raízes (1%).

Na parcela “acima do solo”, os colmos não colhidos possuem o maior percentual de estoque bruto de CO₂ (8%). Os galhos e as folhas somam 4% (2% para cada componente), totalizando assim os 12% da parcela “acima do solo”.

Na parcela “subterrânea” do período de operação, as raízes finas têm o maior percentual de estoque bruto (17%). Para totalizar os 37% temos ainda os rizomas novos com 10%, rizoma mãe com 9% e as raízes com 2%.

Os colmos não colhidos, de acordo com o período de operação, contabilizam o maior percentual de CO₂ estocado bruto na parcela “acima do solo” (20%). A razão deste comportamento é que desde o período de adaptação os colmos já estão mais desenvolvidos e a plantação segue a rotina de corte de colmos conforme a tabela 01. Totalizando os 31% temos os galhos com 6% e as folhas com 5% das quantidades de CO₂ estocado bruto no período de operação em estado estacionário.

Conforme dito anteriormente a plantação libera 61% do total de CO₂ estocado bruto por intermédio da respiração, ou seja, a distribuição percentual dos componentes da planta mostrada na figura 02 se aplica tanto para o CO₂ estocado quanto para o CO₂ liberado por intermédio da respiração.

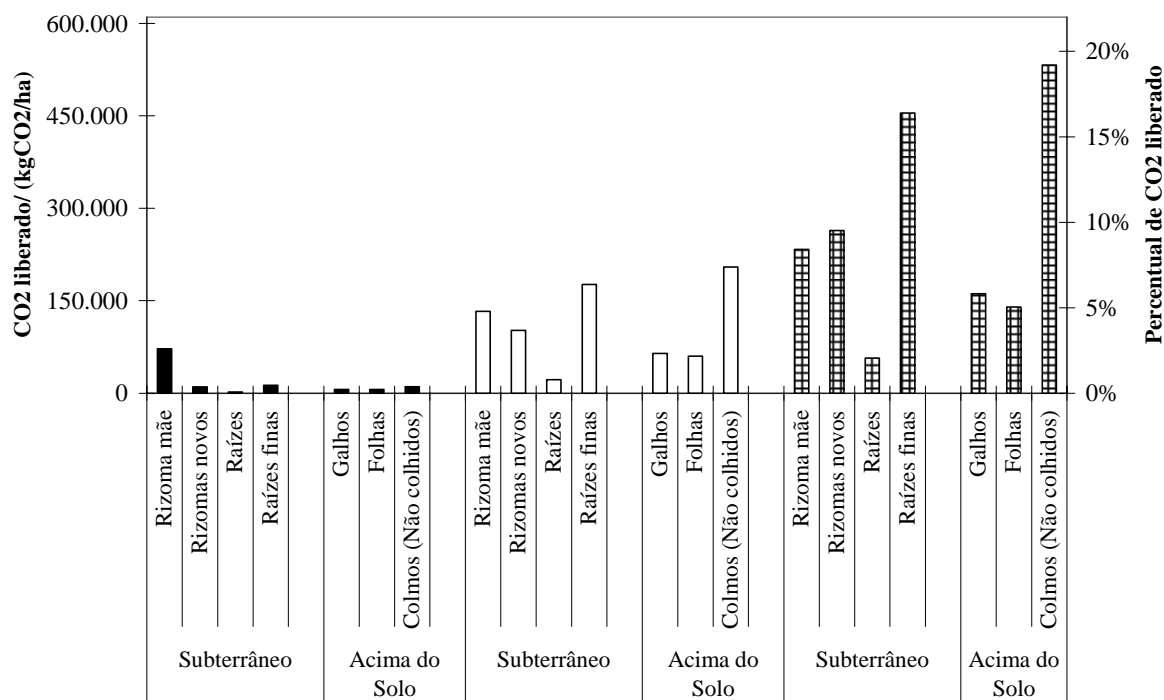


FIGURA 3 – Quantidade e percentual de CO₂ por intermédio da respiração. Em preto: Período de Implantação; Em branco: Período de Adaptação; Quadriculado: Período de Operação.

A tabela 4 mostra o estoque líquido de CO₂ armazenado ao longo dos 25 anos de vida da plantação de bambu nos três tipos de cenários estudados.

TABELA 4 - Estoque líquido de CO₂ na plantação de bambu, nos diferentes cenários propostos, ao longo dos seus 25 anos de vida útil.

Item	Descrição	CO ₂ estocado/ (kgCO ₂ /ha)
1	CO ₂ Estocado - Cenário 01 (Floresta nativa)	1.943.203
2	CO ₂ Estocado - Cenário 02 (Indústria de Celulose e Papel)	1.728.686
3	CO ₂ Estocado - Cenário 03 (Indústria de Celulose e Papel + Usina de Geração de Energia)	1.234.966

1. Valor calculado a partir da equação: (estoque bruto de CO₂ da plantação (figura 2) + estoque líquido de CO₂ dos colmos colhidos (202.284,30 kgCO₂/ha) - (respiração da plantação (figura 3) + quantidade de CO₂ liberada a partir dos insumos na fase de implantação (figura 1)); 2. Valor calculado a partir da equação: (estoque bruto de CO₂ da plantação (figura 2) - (respiração da plantação (figura 3) + quantidade de CO₂ liberada a partir dos insumos (figura 1)); 3. Valor calculado a partir da equação: Item 2 - estoque bruto de CO₂ dos galhos e folhas (figura 2).

O cenário 01, por representar o comportamento de uma floresta nativa, é o que possui o maior valor de CO₂ estocado líquido ao longo dos 25 anos de vida útil da plantação. Isto se deve ao fato de que neste cenário não são colhidos colmos e os insumos liberados são contabilizados até o período de implantação (3 primeiros anos).

O cenário 02 adota o comportamento de uma plantação comercial de bambu voltada para a produção papeleira, com os colmos seguindo a estrutura de corte da tabela 01. A parcela de CO₂ liberada, além da respiração, contabiliza os insumos utilizados em todo o processo produtivo. A diferença de valores (da ordem de 200.000 kgCO₂/ha) entre os cenários 01 e 02 se dá praticamente pela colheita de colmos, citada na tabela 07.



O cenário 03, que possui o menor valor de estoque líquido de CO₂ entre os três estudados, segue o comportamento de uma plantação comercial de bambu, da mesma maneira que o cenário 02. A diferença entre estes dois cenários é que no cenário 03 os galhos e folhas retirados na limpeza dos colmos colhidos não são deixados na plantação (mais precisamente no solo do local da colheita) para servirem de estoque de CO₂. Estes galhos e folhas são comercializados para servirem, por exemplo, para a geração de energia elétrica por intermédio de sua queima em usinas termoelétricas. Por este motivo estes galhos e folhas retirados da plantação, que não podem ser contabilizados no processo, justificam a diferença de valor (da ordem de 400.000 kgCO₂/ha) entre os cenários 02 e 03.

Após os cálculos realizados, pôde-se constatar que a maior parcela de CO₂ estocado é proveniente do subsolo, ou seja, dos rizomas e das raízes da planta (61%). Isso pode ser notado devido a proximidade entre os valores dos cenários adotados no trabalho. Em contrapartida, são dos combustíveis fósseis e dos insumos agrícolas que se originam as maiores quantidades de CO₂ liberado (90%). Medidas para a diminuição destes podem ser extremamente importantes para diminuição da quantidade de CO₂ liberada na atmosfera, consequentemente aumentando o estoque líquido de CO₂ nas plantações de bambu.

Na tabela 5 é exibido um comparativo do estoque anual de CO₂ em diferentes tipos de plantações. Desta maneira, é possível constatar o grande potencial de armazenamento de CO₂ do bambu.

TABELA 5 - Estoque líquido anual de CO₂ em diferentes tipos de plantação.

Cenário	CO ₂ estocado/ (kgCO ₂ /ha ano)	Referência
Floresta de Bamboo (<i>Phyllostachys pubescens</i>)	108,680	Estimado a partir de (ISAGI et al., 1997)*
Plantação Comercial de Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>) – Comportamento Florestal	77,728	Cenário 01 (Tabela 04)
Floresta de eucalipto (<i>Eucalyptus pauciflora</i>), Austrália	68,000	(KEITH et al., 1997)
Plantação Comercial de Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>) - Indústria de Celulose e Papel	69,147	Cenário 02 (Tabela 04)
Floresta Tropical (média global)	62,400	(Malhi et al., 1999)
Plantação Comercial de Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>) - Indústria de Celulose e Papel + Geração de Energia	49,399	Cenário 03 (Tabela 04)
Floresta aberta de eucalipto (savanna), Austrália	44,000	(CHEN et al., 2003)
"Marsh Wetland", Canadá	10,560	(BONNEVILLE et al., 2008)
Plantação - Siberian larch (<i>Larix sibirica</i>), Islândia	7,270	(BJARNADOTTIR et al., 2007)

*Soma da produção líquida de carbono de cada parte da planta (tC/ha ano): 2,06 (folhas); 0,99 (ramos); 0,79 (galhos); 4,66 (colmos); 7,48 (rizomas); 16,7 t biomassa/ha ano x 0,448 fração de concentração de carbono) e 11,19 (raízes finas; 11,19 t biomassa)

Comparando os resultados calculados com os de (ISAGI et al., 1997), acredita-se que a diferença entre as quantidades de CO₂ estocado se deve primeiramente ao tipo de plantação de cada uma das situações. Enquanto (ISAGI et al., 1997) trabalha com uma floresta de bambu com séculos de existência, o estudo apresentado analisa o comportamento de uma



plantação comercial de bambu desde o seu plantio até o final de sua vida útil (25 anos). Mesmo a plantação comercial de bambu, após seu 11º ano de vida, esteja totalmente interada com o meio ambiente, ela não terá o mesmo grau de interação que uma floresta de centenas de anos. Um grande exemplo disto é o fato de que na plantação comercial de bambu existe uma grande quantidade de colmos em crescimento, diferentemente de uma floresta existente desde, aproximadamente, 1603 (ISAGI et al., 1997).

4. Alternativas para a diminuição de emissão de CO₂

Analisando a figura 01 podemos perceber que os maiores índices de emissão de CO₂ são provenientes do fertilizante 14-20-14 e do óleo diesel, que juntos constituem 87% do total de emissões. Para minimizar estas emissões de CO₂ e, conseqüentemente, o impacto que causam ao meio ambiente foram propostas duas alternativas: a substituição do óleo diesel e do fertilizante 14-20-14 por biodiesel e adubo orgânico (esterco bovino curtido), respectivamente.

No Brasil a lei 11.097/2005, publicada no Diário Oficial da União no dia 14 de janeiro de 2005, estabelece a obrigatoriedade de adição do biodiesel ao óleo diesel nos percentuais mínimos de 2% (mistura denominada B2) e 5% (mistura denominada B5) a serem cumpridos a partir de 2008 e 2013 (CAVALETT, 2008).

Com base nas informações obtidas foram feitos cálculos em que as misturas B2 e B5 fossem utilizadas na plantação, ao invés de 100% de óleo diesel. Os valores encontrados tanto para a mistura B2, quanto para mistura B5 apresentaram índices de redução pouco significativos para a redução da emissão de CO₂ na plantação (1 e 4%, respectivamente).

Devido ao cenário atual (mistura B2) e o projetado para 2013 (mistura B5) não apresentarem índices significativos, para fins de estudo foi considerada uma situação em condições ideais extremas. Neste caso o óleo diesel utilizado na plantação seria substituído totalmente por biodiesel (B100), este sendo gerado sem a utilização de combustíveis fósseis. Foi obtido um índice de redução na emissão de CO₂ na plantação de bambu de 90%. Desta maneira o óleo diesel representaria somente 18% - ao invés dos 43% iniciais - do total de emissões de CO₂ na plantação de bambu em toda a sua vida útil, um índice totalmente favorável ao meio ambiente.

Em (VAN RAIJ et al., 1997) foi constatado que para a substituição de 1 kg de fertilizante 14-20-14 são utilizados de 10 a 14 kg de esterco bovino curtido. Neste caso foi atribuído o maior valor para a substituição, ou seja 14 kg. Após a determinação da quantidade (em kg) necessária para a substituição do fertilizante 14-20-14 pelo esterco bovino curtido, a emissão de CO₂ atribuída ao novo insumo empregado foi calculada de acordo com o item 2.1 deste trabalho. Constatou-se que a utilização de esterco bovino curtido ao invés de fertilizante 14-20-14 reduz a emissão de CO₂ na atmosfera, referente ao fertilizante 14-20-14, em 82%.

A figura 4 apresenta um gráfico comparativo dos valores de emissão de CO₂ em diferentes combinações de utilização dos insumos agrícolas estudados, ao longo dos 25 anos de vida útil da plantação. Na figura 4 nota-se que a maior diferença entre os valores está entre a não substituição do óleo diesel e do fertilizante 14-20-14, e a substituição destes dois insumos por biodiesel B100 - gerado sem a utilização de combustíveis fósseis - e esterco bovino curtido. O índice de redução alcançado foi de 75% em relação ao valor inicial. Outro ponto que merece destaque é a pequena diferença de valores entre as hipóteses intermediárias, que utilizam somente um dos dois insumos propostos no trabalho (da ordem de 5%) para a diminuição da quantidade de CO₂ liberado.

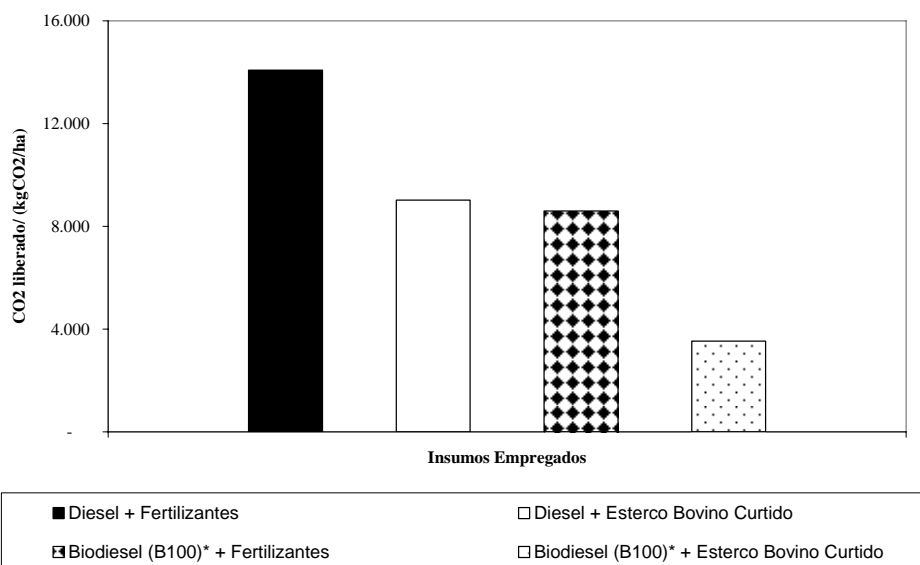


FIGURA 4 – Gráfico comparativo da emissão de CO₂ nos 25 anos de vida útil da plantação utilizando diferentes tipos de insumos agrícolas.

Atualmente, para uma diminuição a curto prazo da quantidade de CO₂ liberada, é possível a substituição do fertilizante 14-20-14 pelo esterco bovino curtido. Caso esta substituição seja feita em toda a vida útil da plantação, é possível que se obtenha uma redução de 64% na quantidade total de CO₂ liberada.

5. Conclusões

Após a abordagem de todos os conceitos e procedimentos propostos, pôde-se constatar que o trabalho realizado apresentou resultados satisfatórios. Por intermédio deste trabalho, foi constatado que o bambu é uma planta com alto potencial de estoque de carbono (entre 49.399 e 77.728 kgCO₂/ha ano). O comparativo realizado entre os valores de estoque líquido de CO₂ calculados neste trabalho e os valores de CO₂ estocados em diferentes tipos de plantação encontrados na literatura (destaque para a floresta de bambu *Phylostachys pubescens*) é possível constatar que os valores aqui apresentados estão dentro da realidade.

Além do inventário das quantidades de CO₂ liberadas e estocadas (e conseqüentemente a real possibilidade de estoque de CO₂) em toda a vida útil da plantação em estudo, outro item que merece destaque é a contribuição para a geração de créditos de carbono que este trabalho pode vir a proporcionar. Os valores de estoque de CO₂ encontrados na plantação podem ser aplicados visando esta finalidade.

Os estoques líquidos de CO₂ encontrados nos diferentes cenários adotados possuem valores satisfatórios e condizentes com a realidade, porém a exatidão dos mesmos não é de 100%. Isso se deve ao fato de que os dados da plantação utilizados para a aplicabilidade da “ferramenta” corroboram o comportamento e as características de uma plantação comercial de bambu convencional. Para que a exatidão dos valores encontrados neste trabalho possa alcançar os 100% desejados recomenda-se:

- A utilização dos dados da Energia Primária Incorporada de acordo com os padrões da rede elétrica brasileira, ao invés dos padrões italianos;
- Uma maior precisão nos dados do comportamento da plantação e das características físicas do bambu. Muitos dados utilizados no trabalho foram estimados devido à falta parcial ou total destes dados.



7. Referências Bibliográficas

- ANSELMO FILHO, P.; BADR, O. *Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil*. Applied Energy 77, p. 51-67. 2004.
- AZZINI, A.; ARRUDA, M.C.Q.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A.L.B.; TOMAZELLO FILHO, M. *Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu*. Bragantia 46(1), p. 17-25. 1987.
- BJARNADOTTIR, B.; SIGURDSSON, B.D.; LINDROTH, A. *Estimate of annual carbon balance of a young Siberian larch (Larix sibirica) plantation in Iceland*. Tellus 59B, p. 891-899. 2007.
- BONNEVILLE, M.C.; STRACHAN, I.B.; HUMPHREYS, E.R.; ROULET, N.T. *Net ecosystem CO₂ exchange in a temperate cattail marsh in relation to biophysical properties*. Agricultural and Forest Meteorology 148, p. 69-81. 2008.
- BRITO, J.O.; TOMAZELLO FILHO, O.; SALGADO, A.L.B. *Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu*. Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis) 36, p. 13-17. 1987.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. *Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems*. Journal of Cleaner Production 10, p. 321-334. 2002.
- CAVALETT, O. *Análise do ciclo de vida da soja*. 221 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2008.
- CHEN, X.; HUTLEY, L.B.; EAMUS, D. *Carbon balance of a tropical savanna of Northern Australia*. Oecologia 137, p. 405-416. 2003.
- CHRISTANTY, L.; MAILLY, D.; KIMMINS, J.P. *“Without bamboo the land dies”: Biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system*. Forest Ecology and Management 87, p. 75-88. 1996.
- EMBAYE, K.; WEIH, M.; LEDIN, S.; CHRISTERSSON, L. *Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management*. Forest Ecology and Management 204, p. 159-169. 2005.
- GRUPO INDUSTRIAL JOÃO SANTOS. *Bambu, do plantio à colheita – Manual do fazendeiro florestal*. SINDIFLORA. p. 1-33. 2000
- GRUPO ITAPAGÉ. Arquivo eletrônico: Home Page/Matéira Prima, 2007. Disponível em <http://www.itapage.com/html/materia_prima_p.htm>. Acesso em: 15.10.2007.
- INBAR – International Network for Bamboo and Rattan, 2008. Arquivo eletrônico: WATANABE, M. *On the management of bamboo stands, with special reference to Japanese research*. Disponível em: <<http://www.inbar.int/publication/txt/tr05/a9-2.html>>. Acesso em 22.03.2008.
- ISAGI, Y.; KAWAHARA, T.; KAMO, K.; ITO, H. *Net production and carbon cycling in a bamboo Phyllostachys pubescens stand*. Plant Ecology 130, p. 41-52. 1997.
- KEITH, H.; RAISON, R. J.; JACOBSEN, K. L. *Allocation of carbon in a mature eucalypt forest and some effects of soil phosphorus availability*. Plant Soil 196, p. 81-99. 1997.
- MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. *The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests*. Plant, Cell and Environment 22, p. 715-740. 1999.
- PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Editora Canal 6. Bauru-Brasil, p. 1-235. 2007.
- PELLIZZI, G. *Use of Energy and Labour in Italian Agriculture*. Journal of Agriculture and Engineering Resources 52, p. 111-119. 1992.
- SAKAI, T.; AKIYAMA, T.; SAIGUSA, N.; YAMAMOTO, S.; YASUOKA, Y. *The contribution of gross primary production of understory dwarf bamboo, Sasa senanesis, in a cool-temperate deciduous broadleaved forest in central Japan*. Forest Ecology and Management 236, p. 259-267. 2006
- SHANMUGHAVEL, P.; FRANCIS, K. *Above ground biomass production and nutrient distribution in growing bamboo (Bambusa bambos(L) voss)*. Biomass and Bioenergy 10, p. 383-391. 1996.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Instituto Agrônomo/Fundação IAC. p. 1-285. 1997.