



Efeito Estufa e o Seqüestro de Carbono em Sistemas de Cultivo Com Espécies Florestais e na Cultura de Cana-de-Açúcar.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Agrobiologia

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

SUMÁRIO

1. EFEITO ESTUFA.....	4
1.1. INTERFERÊNCIA E PREVISÕES SOBRE O EFEITO ESTUFA.....	5
2. O PROTOCOLO DE KYOTO E O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO - MDL.....	6
3. SEQÜESTRO DE CARBONO EM ECOSISTEMAS TERRESTRES.....	9
3.1. O CASO DO EUCALIPTO.....	10
3.2. O CASO DO DENDÊ.....	11
3.3. O CASO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	12
<i>3.3.1. Importância da FBN para o seqüestro de Carbono.....</i>	<i>14</i>
<i>3.3.2. Estimativas do seqüestro de C na cultura de cana-de-açúcar.</i>	<i>15</i>
<i>3.3.3. O Brasil e as emissões de gases do efeito estufa</i>	<i>17</i>
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	19

Efeito Estufa e o Seqüestro de Carbono em Sistemas de Cultivo Com Espécies Florestais e na Cultura de Cana-de-Açúcar. ¹

Alexander S. de Resende²
Adriano O. dos Santos³
Antônio Gondim³
Rogério P. Xavier⁴
Celso H. M. Coelho⁵
Octávio C. de Oliveira²
Bruno J. R. Alves⁶
Robert M. Boddey⁶
Segundo Urquiaga⁶

1. Efeito Estufa

Na atmosfera terrestre, os gases de nitrogênio, oxigênio e argônio moleculares representam mais de 98% de sua composição e com a característica que lhes são peculiares de não absorverem calor. Já outros componentes da atmosfera como o CO₂ (dióxido de carbono), o CH₄ (metano), os Nox (óxidos de nitrogênio) e o vapor d'água, absorvem o calor oriundo da superfície terrestre e o mantêm na atmosfera causando o chamado efeito estufa. Este fenômeno natural é considerado como o principal responsável pelo aquecimento da Terra e coloca em risco a possibilidade de continuidade de vida em nosso planeta. O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera após a revolução industrial, passou de 280 para 360 ppm, o que em termos agrícolas foi favorável pelo simples fato de otimizar a fixação de carbono pela fotossíntese e conseqüentemente colaborar para o aumento da produtividade primária dos vegetais.

¹ Trabalho financiado pelo PRONEX, PADCT e FAPERJ,

²Estudante de Doutorado em Agronomia, Ciências do solo. EMBRAPA-UFRRJ, Bolsista da Capes. Ant. est. Rio-São Paulo, km 47 CP 74505. CEP: 23851-970 Seropédica – RJ. alexresende@usa.net

³Engenheiro Agrônomo, Usina Cruangi S/A, CP 26. CEP 55870-000, Timbaúba, PE.

⁴Estudante de Mestrado em Agronomia, Ciências do solo. EMBRAPA-UFRRJ, Bolsista da Capes.

⁵Estudante de Agronomia, Bolsista PIBIC-CNPq, EMBRAPA-UFRRJ. Ant. est. Rio-São Paulo, km 47 CP 74505. CEP: 23851-970 Seropédica – RJ.

⁶ Pesquisadores da EMBRAPA Agrobiologia, bolsistas do CNPq Ant. est. Rio-São Paulo, km 47 CP 74505. CEP: 23851-970 Seropédica – RJ.

No entanto, a partir da revolução industrial e a conseqüente queima dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) para gerar energia, houve um aumento substancial nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e, alguns cientistas vêm fazendo previsões catastróficas quanto ao clima na Terra. A partir da Eco-92, Países de todo o mundo vem tentando chegar a um acordo sobre a redução das emissões de GEE através de mecanismos de desenvolvimento limpo e emissões de certificados de redução de emissões, incluindo aí, o seqüestro de carbono que vem sendo muito propalado no meio agro-florestal.

Aliado a tudo isto, a possibilidade da ratificação do Protocolo de Kyoto abre novas perspectivas para a captação de recursos internacionais para projetos que colaborem com a redução dos impactos causados pelo efeito estufa. Neste sentido, segue uma breve descrição da história das tentativas de entendimento entre países desenvolvidos e em desenvolvimento tentando passar uma visão global e real do potencial de seqüestro de carbono em sistemas agrícolas dando ênfase ao sistema produtivo de cana-de-açúcar analisando as possibilidades de utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto. São analisados os processos de captação do carbono em uma área cultivada por 16 anos com cana-de-açúcar em Timbaúba, Pernambuco e as emissões evitadas com a substituição de combustíveis fósseis pelos resíduos da indústria sucroalcooleira e produção do álcool combustível.

1.1. Interferência e previsões sobre o efeito estufa

O aumento da interferência humana na biosfera em busca de energia e materiais vem causando severas modificações na qualidade ambiental. Uma indicação dessa alteração é o crescente aumento da concentração de GEE (principalmente CO₂, CH₄, N₂O e NO_x) na atmosfera. Esse aumento é responsável pelo agravamento do efeito estufa que, segundo previsões científicas, acarretará no aumento da temperatura média da superfície terrestre de 1 a 3,5 graus Celsius e o conseqüente aumento do nível médio do mar de 15 a 90 cm no decorrer do próximo século (IPCC,1996).

para serem utilizados pelos países desenvolvidos como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas. Previsões a cerca do consumo de energia para o século 21 sugerem um aumento contínuo das emissões de carbono de cerca de 7 bilhões de toneladas por ano em 1997 para aproximadamente 26 bilhões de toneladas em 2100 (Kessel, 2000). A menos que mudanças drásticas sejam feitas no modelo de produção e consumo de energia, em poucos anos o mundo estará enfrentando graves alterações ambientais principalmente no que diz respeito ao clima. Previsões mais catastróficas de alguns cientistas sugerem que o clima vai mudar de tal maneira que algumas regiões desérticas passarão a apresentar precipitações elevadas, regiões de clima mais úmido passarão a apresentar áreas desérticas e algumas regiões litorâneas da Austrália e Estados Unidos, provavelmente serão invadidas pela água do mar.

Atualmente intensos esforços estão sendo feitos a nível internacional, com a finalidade de diminuir a emissão dos GEE. Neste sentido diferentes metas de redução ou limitação de emissões de carbono foram estabelecidas politicamente por cada país. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos vários “mecanismos de flexibilidade” autorizados pelo Protocolo de Kyoto (dezembro de 1997) e consiste na certificação de projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados

O presente trabalho analisa as possíveis influências dos certificados de emissões de carbono em projetos de biomassa associados às culturas de eucalipto, dendê e cana-de-açúcar no Brasil.

2. O Protocolo de Kyoto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL

A Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada pelo Brasil na RIO-92, trata do problema do efeito estufa. A convenção estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam tomar a liderança no combate ao aquecimento global e retornar suas emissões antrópicas de GEE, por volta do ano 2000, aos níveis anteriores aos de 1990. A primeira conferência dos países que fazem parte da Convenção–Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças no Clima, realizada em 1995, em Berlim (Alemanha), examinou os compromissos definidos

para os países desenvolvidos e concluiu que eram inadequados. Foi elaborado, então, o Mandato de Berlim, que pôs em marcha um processo de dois anos para a discussão de um Protocolo que definisse novos compromissos legalmente vinculantes, no sentido de possibilitar ações apropriadas para a primeira década do século 21.

O processo do Mandato de Berlim culminou com a Terceira Conferência das Partes (COP 3), realizada em Kyoto (Japão), em 1997, com uma decisão por consenso em favor da adoção do Protocolo de Kyoto. De acordo com o Protocolo, os países desenvolvidos aceitaram compromissos diferenciados de redução ou limitação de emissões entre 2008 e 2012. Mas apesar de os países da Convenção terem chegado a um acordo em Kyoto, o Protocolo apenas entrará em vigor 90 dias após a sua ratificação por pelo menos 55 países. Neste sentido cabe mencionar que, em julho de 1997, o Senado norte americano aprovou a resolução que definiu que “os Estados Unidos não devem ser signatários de qualquer protocolo...que imponha novos compromissos de limitar ou reduzir emissões de GEE para as Partes do Anexo I”, a não ser que “o protocolo imponha novos compromissos específicos de limitação ou redução de emissões de GEE para as Partes, Países em Desenvolvimento, incluindo a China, o México, a Índia, o Brasil e a Coréia do Sul, dentro do mesmo período de cumprimento”.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos três “mecanismos de flexibilidade” que foram estabelecidos para auxiliar o cumprimento das metas de redução ou limitação de emissões de GEE e é o único que inclui os países em desenvolvimento. Consiste na certificação de projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados para serem utilizados pelos países desenvolvidos como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas.

O artigo 12 especifica que os países em desenvolvimento que implementarem projetos de MDL emitirão as CERs (Certificado de redução de emissão) e os países industrializados poderão utilizar estas CERs para cumprirem suas metas de redução de emissões de GEE acordadas no Protocolo de Kyoto. Essencialmente, isso incentiva projetos voluntários similares aos elaborados anteriormente pela “Joint Implementation” (JI) entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento.

Apesar dos empecilhos, as expectativas são cada vez maiores. Projetos científicos estão baseando sua execução nas verbas e financiamentos que os CER's trarão para os países em desenvolvimento. Como exemplo, aqui no Brasil, a mistura álcool-diesel, para ser usada nos ônibus de Campo Grande, no Mato Grosso do Sul, visa conseguir fundos com a redução das emissões de carbono, através da utilização do "combustível verde", vendendo seus créditos de carbono. Aliás, as inúmeras manifestações de interesse já mobilizaram o mercado e até o BIRD, Banco Mundial, criou recentemente um fundo de US\$150 milhões para investir nas futuras transações de créditos de emissão de GEE em termos mundiais, chamado Prototype Carbon Fund.

No Brasil, a regulamentação desse mercado desperta enorme atenção. Segundo o documento "Efeito Estufa e Convenção sobre a Mudança do Clima", produzido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (MCT / BNDES), "há uma expectativa de que novos mercados e instrumentos financeiros venham a ser criados para viabilizar as transações de crédito de emissão de gases causadores do efeito estufa". Isso prova que o Protocolo é visto pelo mundo como uma espécie de salvação, tanto para o meio ambiente, como para os países desenvolvidos e em desenvolvimento, que podem montar uma rede de colaboração para diminuir significativamente as emissões atuais.

Estudos mostram que países como a Noruega e a Holanda não conseguem reduzir suas emissões abaixo dos níveis atuais e começam a promover o plantio de florestas em países tropicais, para que elas absorvam parte do carbono emitido por eles; assim, o Brasil também pode se beneficiar desses programas, que já chegaram aos países do Sudeste da Ásia, América Central e ao Caribe.

O papel do Brasil nesse novo mercado tem grande importância. Além de possuir clima e solos favoráveis, ainda possui tecnologia disponível tanto para realizar plantios de florestas, como para otimizar o uso do álcool como combustível e a biomassa como fonte renovável de energia elétrica. Segundo dados de 99, a comercialização internacional de créditos de seqüestro ou redução de emissões de carbono pode chegar a atingir uma demanda de US\$ 20 bilhões anualmente, quando esse mercado estiver totalmente regulamentado. Cada tonelada de carbono

evitada deverá render entre US\$ 10 e US\$ 100. Um país como o Brasil, grande seqüestrador potencial de carbono, tem na venda de créditos uma grande chance de concretizar um desenvolvimento econômico e social sem precedentes na sua história (CENBIO NOTÍCIAS, N. 7, 1999)

A Quarta Conferência das Partes da Convenção (COP4), realizada em 1998, em Buenos Aires, Argentina, estabeleceu um processo que visa regulamentar os três mecanismos até o final de 2000, durante a Sexta Conferência das Partes (COP6). Duas reuniões de negociação para essa regulamentação foram realizadas durante o ano passado, culminando com o processo na COP6, realizada em Haia, Holanda, em novembro de 2000. Embora as perspectivas para esta reunião fossem muito grandes, mais uma vez os Países em desenvolvimento saíram da reunião decepcionados com o comportamento e a posição dos EUA, o que talvez possa ter traçado um futuro menos promissor para o protocolo de Kyoto, uma vez que os Países desenvolvidos como os EUA, além de não reduzirem as emissões de GEE aos níveis de 1990, ainda a aumentaram.

3. Seqüestro de carbono em ecossistemas terrestres

O seqüestro de carbono em ecossistemas terrestres engloba tanto a captura de carbono da atmosfera quanto a prevenção de emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas. Existem duas maneiras básicas de abordar a questão da fixação de carbono em ecossistemas terrestres:

- proteção dos ecossistemas que estocam carbono para que esse processo seja mantido ou até mesmo incrementado (Amazônia por exemplo);
- manipulação dos ecossistemas para aumentar a fixação de carbono (Plantio direto e/ou reflorestamento de áreas degradadas ou tradicionalmente nuas).

A fixação do carbono pode se dar tanto na planta como no solo. O total de carbono armazenado em um sistema reflete o balanço, à longo prazo, entre a absorção da planta, a fixação de carbono no solo e as perdas por respiração e decomposição.

Estudos sobre a absorção, distribuição e fixação de CO₂ conduzidos em diversas regiões e com diversas espécie vegetais (Eucalipto, Dendê e Florestas Naturais) apresentam resultados altamente variáveis.

3.1. O caso do Eucalipto

A biomassa florestal tem sido uma importante fonte de energia desde os primórdios da humanidade, ganhando menos importância com a evolução tecnológica. No entanto, de cada duas árvores cortadas no mundo, uma é destinada para finalidades energéticas (Brito, 1993). É verdade que a importância da lenha em termos percentuais para a produção de energia reduziu muito nos últimos anos, representando atualmente 14% de toda a energia utilizada no mundo. No Brasil, na década de 40, cerca de 80,5% de toda a energia utilizada no país era derivada desta fonte, em 1998, este valor não excedeu 9% (Lima, 1993). Os resultados de seqüestro de carbono por Eucalipto são bastante variáveis e, normalmente estão em função da produtividade e da densidade da madeira de cada espécie. Considerando duas espécies de *Eucaliptus*: *grandis* e *paniculata* e suas respectivas densidades básicas de 0,46 e 0,74 g cm⁻³ pode-se dizer que para o mesmo incremento médio anual (IMA) de produção de 40 Estereis ha⁻¹ ano⁻¹ o *E. paniculata* apresenta um potencial de seqüestro de carbono na parte aérea 61% maior que o *E. grandis*, possibilitando um seqüestro de 13,6 t de C ha⁻¹ ano⁻¹ contra 8,4 t de C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Estes valores caso fossem convertidos diretamente em energia seriam equivalentes a 7,5 e 12 t de óleo combustível segundo Lima (2000). E considerando o valor de US\$ 10,00 a t de C sequestrado, representariam cerca de 84 e 136 US\$ ha⁻¹ ano⁻¹ em (CERs).

Tabela 1 – Estimativa do seqüestro de C em plantio de *Eucaliptus grandis* e *paniculata* e ganho líquido com certificado de redução de emissões de poluentes (CERs).

Fontes	Mseca	C ha ⁻¹ ano ⁻¹	C 3000 ha ⁻¹ 8 anos	Ganho com CERs
	Mg ha ano ⁻¹	Mg	Mg	US\$
<i>E. grandis</i>	18,4	8,4	201.600	2.010.600,00
<i>E. paniculata</i>	29,6	13,6	326.400	3.260.000,00

Adaptado de Lima (2000)

Admitindo-se as atuais emissões de carbono via combustíveis fósseis e a quantidade de carbono fixada anualmente por estas duas espécies de Eucalipto pode-se dizer que seria necessário uma área de 809.523.809,5 ha de *Eucaliptus grandis* e cerca de 500 milhões de ha de *Eucaliptus paniculata* para igualar as

emissões anuais de carbono para a atmosfera via combustíveis fósseis. Vale ressaltar que os sistemas agrícolas são os principais emissores de Nox que são cerca de 150 vezes mais prejudiciais para o aumento do efeito estufa que o CO₂ e portanto deve ser considerados em ações desta natureza. Outra pergunta diz respeito ao que fazer com toda esta madeira após o ciclo de corte da cultura? Queimar e retornar CO₂ para a atmosfera, transformar toda esta madeira em móveis? Em celulose e papel? Em energia em substituição aos combustíveis fósseis? E a área deve ser cultivada novamente? As respostas para estas perguntas parecem ainda não existir...

3.2. O caso do Dendê

O Dendê é o 2º óleo vegetal mais comercializado no mundo e o Brasil atualmente importa cerca de 50% de sua necessidade para utilização nas indústrias. Esta espécie apresenta grande potencial produtivo no Brasil, principalmente na Região Amazônica e no Sul da Bahia, que são duas das regiões que apresentam os piores índices sócio-econômicos do País, o que aumenta ainda mais a importância desta espécie para o desenvolvimento sustentável destas regiões (Silva et al., 2000). Os níveis de absorção e estoque de carbono apresentados pelo dendezeiro em diferentes condições ecológicas, apontam para valores bastante interessantes embora menores que os do *Eucalyptus*. O questionamento reside então no que pode ou deve ser considerado como carbono fixado pelo dendezeiro, dentro da metodologia do IPCC.

Estudos conduzidos em La Mé/Costa do Marfim (Dufrene *et al*, 1990), possibilitaram a simulação do destino dos assimilados, mostrando que a respiração consome 67% da assimilação, valores estes bem superiores aos encontrados em outros estudos, de 20% a 50% (Ruguet, 1981). A manutenção do sistema foliar e radicular se apresentou como o principal destino dos produtos da assimilação, com 18% e 24,5% respectivamente.

Considerando que em 8 anos, o dendezeiro acumula cerca de 36 t ha⁻¹ de C, pode-se dizer que o potencial de seqüestro de C desta espécie é de 4,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C. No entanto, ao considerarmos o sistema produtivo em 25 anos, e que o resíduo da fabricação do óleo pode ser utilizado para co-gerar energia, substituindo

os geradores à óleo diesel tradicionalmente utilizados nestas regiões, temos a Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa das emissões de C evitadas e do carbono sequestrado numa agroindústria de óleo de palma, considerando uma área de 3000 ha de dendê plantado e a vida útil de 25 anos.

Fontes	C ha ⁻¹ 25 anos Mg ha ⁻¹	C ha ⁻¹ ano ⁻¹ Mg ha ⁻¹	C 3000 ha ⁻¹ 25 anos Mg ha ⁻¹	Ganho com CERs US\$
Emissões evitadas	22,9	0,92	68,750	687.500,00
Carbono “sequestrado”	42,8	1,71	128,433	1.284.330,00
Total	65,7	2,63	197,183	1.971.830,00

Adaptado de Silva et al., 2000

Admitindo-se as atuais emissões de carbono via combustíveis fósseis e a quantidade de carbono fixada anualmente pelo dendezeiro, pode-se dizer que seria necessário uma área de aproximadamente 2,6 bilhões de hectares para igualar as emissões anuais de carbono para a atmosfera via combustíveis fósseis. Valores estes inimagináveis em termos agrícolas e lembrando-se que novamente só está sendo considerado o CO₂, que embora quantitativamente seja de grande importância para o efeito estufa, seu efeito deletério é bem menor que o dos outros gases de efeito estufa.

3.3. O caso da cana-de-açúcar

A cultura de cana-de-açúcar ocupa papel de grande importância na economia de diversos países dos cinco continentes do mundo, sendo de maior destaque nas economias da América Latina e do Caribe. O Brasil é atualmente o maior produtor mundial desta cultura, com uma área plantada de 4,9 milhões de hectares e uma produtividade média de 68 t ha⁻¹ (IBGE-SIDRA, 1999). A história da cana-de-açúcar no Brasil iniciou-se logo após a chegada dos portugueses e, vem mantendo-se até hoje como um dos principais cultivos agrícolas do País. Neste século, até o início da década de 70, a economia do setor açucareiro passou por várias crises (Cana-de-

açúcar, 1997), no entanto, em meados daquela década, o País implantou o maior programa de combustível renovável do mundo, o PROÁLCOOL, que, além de atenuar a dependência brasileira pelo petróleo dos países do oriente médio, (na época, o País importava cerca de 84% de sua necessidade diária de petróleo), o álcool, produzido a partir da cana-de-açúcar e usado como combustível, permitiria a redução da emissão de monóxido de carbono em 57 %, de hidrocarbonetos em 64 % e de óxidos de nitrogênio em cerca de 13 %, quando comparados com carros movidos à gasolina (Bohm, 1986). Com o PROÁLCOOL o Brasil diminuiu a importação de petróleo no equivalente a 200.000 barris por dia, o que em termos sócio-econômicos, representou a criação de cerca de 1 milhão de empregos, e ao redor de US\$ 1 bilhão por ano na economia de divisas, totalizando nestes quase trinta anos de programa cerca de US\$ 30 bilhões.

Atualmente, considerando-se apenas os preços internacionais do petróleo, pode-se dizer que o custo de uma unidade energética na forma de álcool é relativamente elevado, mas neste cálculo, não tem sido considerado o efeito ambiental. Outro ponto relevante, consiste no fato de que nos últimos 18 meses, os preços internacionais do barril de petróleo dobraram, passando de 14 para US\$ 29, e a perspectiva é que aumente ainda mais nos próximos anos, sendo previsto que em 2020 o barril esteja cotado a US\$ 50 (Petroleum Industry Research, 2000). Desta forma, o álcool é conhecido hoje, por ser um dos biocombustíveis renováveis menos poluente e mais correto do ponto de vista ecológico, social e econômico.

Um dos fatores de primordial importância para o sucesso do programa PROÁLCOOL no Brasil, diz respeito ao balanço energético altamente positivo da cultura de cana-de-açúcar para a produção de álcool (Resende, 2000). Na cana produzida em países como EUA e Cuba o balanço energético raramente chega a 1 (Boddey, 1995), e no Brasil é de aproximadamente 9, podendo chegar a 12 caso se elimine a adubação com fertilizantes minerais nitrogenados, diminuam-se as perdas industriais e haja um maior aproveitamento dos subprodutos da indústria (Macedo *et al.*, 1997). Este grande balanço positivo, quando comparado aos demais países produtores de cana-de-açúcar, deve-se, em grande parte, aos bons rendimentos da cultura com baixas aplicações de fertilizantes nitrogenados (Zambello & Orlando Filho, 1981; Urquiaga *et al.*, 1992), quando comparados com outros, como os

Estados Unidos, Cuba, Venezuela e Perú, onde as adições de nitrogênio estão entre 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Na Tabela 3 é possível observar-se o balanço energético da produção de álcool a partir de diversas espécies vegetais. Vale ressaltar que o balanço energético encontrado para cana no Brasil é muito superior (900%) aos demais países produtores.

Tabela 3. Balanço de energia para a produção de álcool por diversas espécies.

Espécie	Balanço energético
Sorgo (EUA e Europa)	1,00
Milho (EUA)	0,90
Trigo (EUA e Europa)	1,02
Beterraba (Europa)	1,30
Cana-de-açúcar (Brasil)	9,00

Adaptado de Santos (2000).

3.3.1. Importância da FBN para o seqüestro de Carbono

Admitindo-se o potencial de redução nas emissões de CO₂ para a atmosfera via seqüestro de carbono pelos vegetais ou retido na matéria orgânica do solo, a fixação biológica de nitrogênio ocupa papel de grande destaque. Na fabricação de 1 kg de fertilizante nitrogenado é necessário uma energia equivalente a aproximadamente 15 Mcal, que normalmente é obtida via queima de combustíveis fósseis. Neste sentido a utilização de espécies vegetais para o seqüestro de carbono que sejam capazes de receber parte ou todo o nitrogênio necessário ao seu desenvolvimento via FBN é de fundamental importância, não somente do ponto de vista ambiental como do ponto de vista econômico, uma vez que o nitrogênio é, para a maioria das espécies, o elemento mineral de maior demanda. Neste aspecto a cultura de cana-de-açúcar ocupa papel de grande destaque pois nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, tanto em Campos (RJ) nos anos 40, como nos programas conduzidos mais recentemente pelo Planalsucar, Copersucar (SP) e atualmente pelas Universidades Federais, as aplicações de fertilizante nitrogenado foram sempre modestas (60 a 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), e as cultivares selecionadas produziram satisfatoriamente nestas condições, raramente mostrando grandes respostas às adições deste nutriente (Azeredo *et al.*, 1986). É

bastante aceitável que, devido a estas baixas doses de N-fertilizante aplicadas, os pesquisadores brasileiros contribuíram e vêm contribuindo em grande parte, para aumentar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura de cana-de-açúcar (Urquiaga *et al.*, 1997).

3.3.2. Estimativas do seqüestro de C na cultura de cana-de-açúcar.

considerando a área cultivada no Brasil e no Mundo. Considerando a área plantada no Brasil com cana-de-açúcar de aproximadamente 4,9 milhões de ha e uma produção de 330 Mt de colmos e que este valor representa cerca de 25% da produção de colmos de cana de um ano em todo o mundo, temos a Tabela 4. Para a compreensão desta tabela algumas considerações devem ser feitas: A produtividade média da safra 99/00 foi de 68 t ha⁻¹ de colmos, contendo aproximadamente 25% de matéria seca com 45% de carbono.

Tabela 4- Estimativas de carbono fixado na cana anualmente

Partes da planta	Mseca	Carbono Mg ha ⁻¹	Brasil	Mundo
			Carbono M t	Carbono M t
Colmos	17	7,65	37,5	150
Palha	8	3,6	17,6	70,4
Bandeira	3	1,35	6,6	26,4
Raízes	8	3,6	17,6	70,4
Total	36	16,2	79,3	317,2

Analisando cuidadosamente a Tabela 4 constata-se que para equilibrar as atuais emissões de C via combustíveis fósseis através do plantio de cana-de-açúcar seriam necessários o cultivo anual de 420 milhões de hectares, o que representa aproximadamente 21 vezes a área plantada com cana no mundo. Estes valores se tornam ainda maiores ao constataremos que a palha é geralmente queimada antes do corte para facilitar a colheita, retornando carbono para a atmosfera e aproximadamente 95% do carbono fixado pela bandeira (folhas verdes) e pelas raízes, retorna à atmosfera durante o processo natural de decomposição. Do ponto de vista energético, a cultura de cana se torna mais atrativa. Um de seus principais subprodutos, o álcool

combustível, pode substituir parcialmente os combustíveis fósseis, seja na mistura com a gasolina ou diesel, seja em motores a álcool; o bagaço, subproduto da moagem da cana, é utilizado na co-geração de energia elétrica para a indústria, substituindo em termos equivalentes o óleo combustível.

Em estudo de balanço energético na cultura de cana-de-açúcar, Macedo (1998) determinou as emissões líquidas de carbono para atmosfera. Em adição a este estudo, introduziu-se uma nova variável, a partir dos dados de carbono no solo em função de dados referentes a 16 anos do manejo cana crua x queimada na região nordeste do Brasil. Neste experimento, encontrou-se um aumento do C no solo no sistema cana crua da ordem de $270 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ à 20 cm (Tabela 5), em média, nos 16 anos de estudo. Neste sentido, a manutenção da palhada no sistema favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, reduzindo ainda mais a emissão líquida de C via queima de combustíveis fósseis (Tabela 6).

Tabela 5. Percentual e estoque de carbono no solo cultivado por 16 anos anos com cana-de-açúcar, submetido a prática de colheita crua ou queimada.

Profundidade (cm)	Sistema de Colheita				% de diferença
	Queimada		Crua		
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	
0-10	1,16	15776	1,334	17475	11
10-20	1,102	15538	1,276	18119	17
Total	-	31314	-	35594	14

Tabela 6. Emissões líquidas de CO₂ durante o ciclo produtivo da cana de açúcar no Brasil em 1996 – Dados convertidos para Carbono.

	10 ⁶ Mg C (equivalente) ano ⁻¹	
	Com Queima*	Sem Queima
Combustíveis fósseis utilizados na agroindústria	+1,28	+1,28
Emissões de metano (CH ₄) – com a queima da palhada	+0,06	0
Emissões de N ₂ O	+0,24	+0,24
Álcool substituindo a gasolina	-9,13	-9,13
Substituição do óleo combustível por bagaço	-5,20	-5,20
Contribuição de C na MOS após 16 anos	0	-1,34
“Seqüestro de Carbono”	-12,74	-14,15

* Adaptado de Macedo (1998)

3.3.3. O Brasil e as emissões de gases do efeito estufa

O impacto positivo da redução de emissão de GEE na substituição da energia proveniente da rede, por energia cogenerada por resíduos de biomassa é atenuado no caso do Brasil. Isso se deve ao fato da energia elétrica no Brasil ser predominantemente proveniente de fontes renováveis. Mesmo quando inserimos neste cenário as usinas térmicas a serem implantadas, o quadro pouco se altera já que a emissão de GEE produzidas pela combustão do gás natural é muito baixa comparada com as usinas térmicas a carvão, comuns nos Estados Unidos. Assim sendo, no caso brasileiro, o maior potencial de captação de recursos do MDL é o seqüestro de carbono seja por meio de reflorestamento, ampliação do uso do álcool na mistura com o Diesel e/ou manejo mais conservacionista em sistemas agrícolas. Embora o reflorestamento, na maioria das regiões do Brasil não seja financeiramente viável, os recursos previstos no MDL pode viabilizar vários projetos de recuperação florestal que já contam com limitadas fontes de recurso.

Em termos globais, analisando a Tabela 7, pode-se constatar a insignificância da queima praticada na cultura de cana-de-açúcar para o impacto global das emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 7. Emissões de gases de efeito estufa na cultura de cana-de-açúcar no Brasil e percentual das emissões globais em 1996.

Gases	Emissões kg ha ⁻¹ *	Emissões ** Gg	% das emissões Globais Antropogênicas**
CH ₄	6,5	136,5	0,3
CO	-	2866,1	0,9-0,4
N ₂ O	1,7	6,7	0,8
NO _x	-	243,4	0,9

* Macedo, 1998. **Adaptado de Lima et al., 1999

Outro aspecto a ser considerado quando comenta-se em emissões de GEE, é que somente um pequeno percentual dos gases emitidos ficam na atmosfera, sendo que grande partes destes, possivelmente são fixados pelos oceanos. Na Tabela 8 é possível observar estas taxas de emissões determinadas por diversos autores para os GEE, associados à cultura de cana-de-açúcar.

Tabela 8 – Taxa de emissões de gases de efeito estufa obtida para cana-de-açúcar por diferentes autores.

Autores	CH ₄	CO	NO _x
	g gás kg ⁻¹ de Biomassa seca		
IPCC (1996)	2,8	55	0,12
USEPA (1990)	0,6 - 2	30-41	-
Jenkins et al. (1995)	0,41	25	1,4

4. Considerações finais

Observando atentamente o exposto acima e o que se encontra na literatura atualmente, falar em seqüestro de carbono sem pensar e insistir na redução das emissões antropogênicas de GEE pelo uso de combustíveis fósseis parece ser absurdo, ao menos a curto ou médio prazo. Para isto, precisa-se ser realista. Em nosso meio, por exemplo, não deveríamos discutir a despolição da Baía de Guanabara sem primeiro eliminar as fontes de poluição que desembocam nela. Qualquer medida no sentido de seqüestrar carbono é válida, mas seu impacto global

quando se transforma a expectativa em números, parece ser ainda reduzido. Não será fácil encontrar um projeto que permita reduzir, a médio prazo, os níveis de gases de efeito estufa da atmosfera, principalmente levando em consideração o longo tempo de emissões continuadas.

O grande fato e questão na prática do seqüestro de carbono é o que se refere ao seqüestro efetivo do carbono; ou seja, não adianta colocar este carbono numa forma que em pouquíssimo tempo ele possa ser decomposto e volte para a atmosfera como CO₂, é necessário que este carbono não esteja disponível para voltar para a atmosfera por um bom período de tempo.

Na verdade pouco se sabe e muito especula-se em relação ao real impacto dos gases de efeito estufa na chamada mudança climática global. No entanto, enquanto a ciência busca a real importância deste fato, deve-se pensar em reduzir a emissão de GEE via combustão de combustíveis fósseis. No momento, no Brasil, uma alternativa viável que parece existir é substituir o combustível fóssil por fontes de energia renováveis. Neste aspecto a cultura de cana-de-açúcar vem demonstrando ter grande potencial de utilização através da produção do álcool combustível e da co-geração de energia através do uso do bagaço em caldeiras, atingindo a vanguarda entre as demais culturas agrícolas para aproveitamento energético e um conseqüente “seqüestro” relativo de carbono.

5. Referência Bibliográficas

AZEREDO D.F.; BOLSANELLO J.; WEBER, H.E.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. **STAB**, Piracicaba, v. 4, p. 26-32, 1986.

BODDEY, R.M. Biological nitrogen fixation in sugar cane: A key to energetically viable biofuel production. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 14, n. 3, p. 263-279, 1995.

BOHM, G.M. **Impactos da poluição dos veículos automotores na saúde humana e meio ambiente**. São Paulo: **FIESP/CIESP**, 1986.

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 1993.

CANA-DE-AÇÚCAR, Proálcool procura seu caminho para sobreviver. **A Granja**, Porto Alegre, v. 53, n. 581, p. 12-17, 1997.

FAO – **Fao and Bioenergy**. Disponível na Internet: <http://www.fao.org>

GONZALEZ, W.A.; NUNES P.P.; FERREIRA, M.S.; MARTINS, E.P.; REGUERA, F.M.; PASTURA, N.M.R. Biodiesel a partir de óleos vegetais. **AGRENER 2000, 3º. Encontro de Energia no Meio Rural**. 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

IBAMA – Disponível na internet: <http://www.ibama.gov.br>

IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Sistema IBGE de recuperação automática – **SIDRA**, 1999.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reference Manual**. Paris: OECD, 1996.

JENKINS, B.M.; TURN, S.Q.; WILLIAMS, R.B.; GORONEA, M.; ABDEL-FATTAH, H.; MEHLSCHAU, N.; RAUBACH, N.; WHALEN, S.A.; CHANG, D.P.Y.; KANG, M.; TEAGUE, S.V.; RAABE, O.G.; CAMPBELL, D.E.; CAHILL, T.A.; PRITCHETT, L.; CHOW, J.; JONES, A.D. Atmospheric pollutant emission factors from open burning of sugar cane by wind tunnel simulations. **Final report. Davis: University of California**, 1995 (Prepared for the Hawaiian sugar planter's association, Aiea, Hawaii).

KESSEL, D.G. Global warming – facts, assessment, countermeasures. **Journal of Petroleum Science and Engineering**. v. 26, Issues 1-4, p. 157-168, 2000.

LIMA C.R. Produtividade e equivalência energética de Eucalyptus sp. em relação ao óleo combustível e à energia elétrica. **AGRENER 2000, 3º. Encontro de Energia no Meio Rural**. 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

LIMA C.R. **Contribuições da co-geração de energia na qualidade da madeira como material de construção civil**. 1993. 64f. Tese (Mestrado em Arquitetura) – IISC/USP, São Carlos.

MACEDO, I.C.; KOLLER, H.W. Balanço de energia na produção de cana-de-açúcar e álcool nas usinas cooperadas em 1996. **International Report**, Centro Tecnológico da Copersucar, Piracicaba, 23p. 1997.

MACEDO, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in Bio-Ethanol production and utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 14., n. 1, p. 77-81. 1998.

MENDOZA, H.N.S. **Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo**. 1996. Tese (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí-RJ.

ORLANDO-FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JR., E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76 em função de idade em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1980. 128p. (PLANALSUCAR. Boletim Técnico, 2).

PERES, L.A.P.; NOGUEIRA, L.A.H.; TORRES, G.L. Impactos das emissões atmosféricas provocadas por geradores diesel em estudos de fontes de energia no meio rural. **AGRENER 2000, 3º. Encontro de Energia no Meio Rural**. 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

PETROLEUM INDUSTRY RESEARCH. Artigo publicado na coluna de Joelmir Beting. **O GLOBO**, Rio de Janeiro, 2 fev., 2000. p.40, c. Economia.

RESENDE, A.S. **A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: Uso de adubos verdes.** 2000. Tese (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

ROSILLO-CALLE, F. The role of biomass energy in rural development. AGRENER 2000, **3º. Encontro de Energia no Meio Rural.** 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

SANTOS, M.A. Análise energética comparada na produção de culturas agrícolas para produção de etanol. AGRENER 2000, **3º. Encontro de Energia no Meio Rural.** 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

SILVA, O.C.; STELLA, O.; VARKULYA Jr., A.; COELHO, S.T. Potencial de mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). AGRENER 2000, **3º. Encontro de Energia no Meio Rural.** 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 105-114, 1992.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar: Perspectivas.** In: WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1997, Aracaju. **Palestras...** Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997. 126p. Editado por Walane Maria Pereira de Mello Ivo, Ana Alexandrina Gama da Silva, Dalva Maria da Mota, Marcelo Ferreira Fernandes. 1997.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Greenhouse gas emissions from agricultural systems: summary report. Washington: USEPA, 1990. V. 1, p. III-33.

ZAMBELLO, J.R.; ORLANDO FILHO, J. **Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1981. 26p. (PLANALSUCAR. Boletim Técnico, 3).

República Federativa do Brasil

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Diretor Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Bonifácio Hideyuki Nakasu

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Embrapa Agrobiologia

Chefe Geral

Maria Cristina Prata Neves

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

José Ivo Baldani

Chefe Adjunto Administrativo

Valéria Luiza Pereira Magalhães da Silva

DOCUMENTO Nº 133

ISSN 1517-8498

Março/2001

Efeito Estufa e o Seqüestro de Carbono em Sistemas de Cultivo Com Espécies Florestais e na Cultura de Cana-de-Açúcar.

*Alexander S. de Resende
Adriano O. dos Santos
Antônio Gondim
Rogério P. Xavier
Celso H. M. Coelho
Octávio C. de Oliveira
Bruno J. R. Alves
Robert M. Boddey
Segundo Urquiaga*

Seropédica – RJ

Ano 2001

Exemplares desta publicação podem ser solicitadas à:

Embrapa Agrobiologia
Caixa Postal: 74505
23851-970 – Seropédica – RJ
Telefone: (021) 682-1500
Fax: (021) 682-1230
e-mail: acn@cnpab.embrapa.br

Expediente:

Revisor e/ou ad hoc: *Helvécio De-Polli*

Normalização Bibliográfica/Confecção/Padronização: *Dorimar dos Santos Felix*

Tiragem: 50 exemplares

Comitê de Publicações: *José Ivo Baldani (Presidente)*

José Antonio Ramos Pereira

Marcelo Grandi Teixeira

Robert Michael Boddey

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Verônica Massena Reis

Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Resende A.S., Santos A.O., Gondim A.O., Xavier R.P., Coelho C.H.M., Oliveira O.C., Alves B.J.R., Boddey R.M. & Urquiaga S. **Efeito estufa e o seqüestro de carbono em sistemas de cultivo com espécies florestais e na cultura de cana-de-açúcar.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, mar. 2001. 23p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 134).

ISSN 1517-8498

1. Seqüestro de Carbono, cana, cana-de-açúcar. I. Pedra, P.P., colab. II. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). III. Título. IV. Série.