

# O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo

The Kyoto Protocol and the electric power generation for sugar-cane biomass as clean development mechanism

*Le Protocole de Kyoto et l'engendrement de l'énergie électrique pour la biomasse de la canne à sucre comment mécanisme de développement net.*

*El Protocolo de Kyoto y la generación de energía eléctrica por la biomasa del caña de azúcar como el mecanismo de desarrollo limpio*

Luiz Augusto Meneguello\*  
Marcus Cesar Avezum Alves de Castro\*\*

Recebido em 30/7/2006; revisado e aprovado em 16/11/2007; aceito em 26/1/2007.

**Resumo:** Este artigo faz uma breve explanação sobre as causas do aquecimento global e suas conseqüências para o clima na Terra e apresenta as exigências necessárias às usinas de açúcar e álcool para a apresentação de projetos com vistas a sua classificação como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo conforme estabelecido pelo protocolo de Kyoto. Também faz uma análise das possibilidades de aumento da mitigação dos gases do efeito estufa através da modernização dos processos de produção nas empresas do setor sucroalcooleiro.

**Palavras-chave:** Biomassa; energia; Protocolo de Kyoto.

**Abstract:** This article makes an short explanation on the causes for global heating and their consequences for the climate in the Earth and it presents the necessary demands to the sugar and alcohol mills for the presentation projects with views its classification as Clean Development Mechanisms accordingly established for Kyoto Protocol. It also makes an analysis of the possibilities to increase the mitigation of the greenhouse gases through the modernization of the production processes in the sugar and alcohol mills.

**Key Words:** Biomass; energy; Kyoto Protocol.

**Résumé:** Ce article fait une brève explication sûr les causes du chauffage global et sés conséquences pour le climat dans la Terre et se presente les exigences nécessaires à les usines de sucre et alcool pour la présentation de projet avec vues a as classification comment mécanisme de développement net selon établi pour le protocole de Kyoto. Aussi il fait une anlyse des possibiltés d'augment des mitigations des gazes d'efct étuve a través de la modernisation des proccéss de production dans les entreprises du secteur sucrealcooleique.

**Mots-clé:** Biomasse; energie; Protocole de Kyoto.

**Resumen:** Este artículo hace una explicación corta en las causas para el calintamiento global y sus consecuencias para el clima en la Tierra y presenta las demandas necesarias para la industria del azúcar y alcohol presentar sus proyectos a fin de obtener su clasificación como Mecanismos de Desarrollo Limpios establecidos por el Protocolo de Kyoto. También hace un análisis de las posibilidades de aumentar la mitigación de los gases de el efecto estufa por medio de la modernización de los procesos de producción en la industria del azúcar y alcohol.

**Palabras clave:** Biomasa; energía; Protocolo de Kyoto.

## Introdução

A produção de energia é uma atividade normalmente agressiva ao ambiente. Os países que não possuem recursos hídricos, e outras fontes renováveis de energia como as existentes no Brasil, geralmente obtêm a energia para o conforto das populações e para o desenvolvimento de suas atividades econômicas por meio da queima de combustíveis fósseis, que provocam o aumento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

Segundo Pearce (2002), a queima dos combustíveis fósseis se intensificou após a revolução industrial e atingiu níveis ainda maiores, depois da década de 1970, fazendo com que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera passasse de 270 ppm (partes por milhão) na época anterior à revolução industrial, para 370 ppm nos dias atuais. Esta concentração juntamente com outros gases tem intensificado o fenômeno conhecido como efeito estufa. De acordo com o autor o efeito estufa é um fenômeno natural provocado

\* Mestrando do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente do Centro Universitário de Araraquara - UNIARA. (mestrado@uniara.com.br).

\*\* Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente do Centro Universitário de Araraquara - UNIARA. (mestrado@uniara.com.br).

pelos gases conhecidos como “Gases do Efeito Estufa – GHG (*Green House Gas*)”, que envolvem a Terra e fazem com que parte do calor emitido pelo Sol que chega à superfície terrestre seja retido na atmosfera e mantenham o planeta aquecido. Sem este efeito, a Terra congelaria, porém o problema que se enfrenta atualmente é consequência da intensificação deste fenômeno provocada pelo aumento descontrolado dos Gases do Efeito Estufa na atmosfera, com um conseqüente aumento da temperatura global. O autor relata ainda que este aquecimento global tem provocado mudanças climáticas cada vez mais intensas causando sérios riscos às populações devido a fenômenos como derretimento de geleiras seguido do aumento do nível dos oceanos, tempestades cada vez mais intensas, desertificações em áreas antes produtivas e um maior número de descargas atmosféricas em determinadas regiões da Terra.

Para Scarpinella (2002), o efeito estufa é um fenômeno natural que possibilita a vida na Terra. Este efeito torna a Terra um planeta habitável para a humanidade com uma média de temperatura de 15°C. Se não houvesse essa camada de gases, a superfície terrestre poderia sofrer grandes variações, dificultando a sobrevivência de muitas formas de vida. O autor relata que os principais gases causadores do efeito estufa e suas porcentagens na atmosfera são conforme o indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Gases do Efeito Estufa – GHG (SCARPINELLA, 2002).

Gás do efeito estufa - GHG	%
Dióxido de carbono – CO <sub>2</sub>	55
Clorofluorcarbono – CFC	20
Metano – CH <sub>4</sub>	15
Óxido Nitroso – N <sub>2</sub> O e outros	10

Ainda segundo Scarpinella (2002), existem outros gases que provocam o efeito estufa, porém com concentração bem menor na atmosfera, são eles o hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). O autor afirma que a principal atividade humana geradora dos Gases do Efeito Estufa é a produção de energia com 57 % das emissões.

Pearce (2002), relata que a humanidade vem a cada dia aumentando sua preocupação com os fenômenos ligados às alterações climáticas e um dos primeiros esforços, em nível mundial, para tentar barrar estas mudanças ocorreu em 1992 no Rio de Janeiro quando se realizou a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança Climática, patrocinada pela “Organização das Nações Unidas – ONU”. Naquela convenção as nações industrializadas concordaram em estabilizar suas emissões de poluentes nos níveis de 1990 durante dez anos. Porém, segundo o autor, muitas nações não cumpriram a meta.

Rocha (2003), relata que em 1997 ocorreu um encontro em Kyoto no Japão, também patrocinado pela ONU, onde se elaborou um documento conhecido como Protocolo de Kyoto em que os 20 países industrializados mais poluidores se comprometiam a reduzir seus níveis de emissão de Gases do Efeito Estufa em 5,2%, em média em relação aos níveis de emissão observados em 1990, no período entre 2008 e 2012 (definido como primeiro período do compromisso). O autor relata que para que os países industrializados consigam atingir suas cotas de redução de Gases do Efeito Estufa criou-se um dispositivo chamado de “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL”, pelo qual os países em desenvolvimento implantam atividades que subtraem carbono da atmosfera e em troca recebem “Certificados de Emissões Reduzidas – CER” conhecidos como créditos de carbono que então devem ser comercializados com os países industrializados num mercado internacional, conhecido como “Mercado de Carbono”. O autor destaca que, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, têm um objetivo duplo: a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa e/ou seqüestro de carbono e promover o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro do projeto e podem ser divididos nas seguintes modalidades:

- Fontes renováveis e alternativas de energia. Como as usinas à biomassa;
- Eficiência / conservação de energia. Como os projetos de modernização;
- Reflorestamento e estabelecimento de novas florestas. Sendo nesta modalidade que está à maioria dos projetos de seqüestro de carbono.

Os empreendedores que desejarem classificar seus projetos como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo precisam cadastrá-los e receber a aprovação junto à “*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*”, que é a convenção permanente na ONU, encarregada dos estudos referentes à mudança do clima.

Para Villanueva (2002), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, é de extrema importância para os países em desenvolvimento, uma vez que é a principal forma de inserção destes países no emergente mercado de Certificados de Emissões Reduzidas de Gases do Efeito Estufa e a única no âmbito dos mecanismos do Protocolo de Kyoto.

Segundo A UNFCCC (2005), existem atualmente no Brasil vários projetos credenciados, ou em fase de credenciamento, para receberem a classificação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, como: usinas termoelétricas a biomassa de arroz, madeira, cana-de-açúcar ou bio-gás, projetos de reflorestamento, usinas de energia eólica e pequenas centrais hidroelétricas entre outros.

Junqueira (2006), destaca que atualmente o Brasil é líder em projetos de créditos de carbono registrados na ONU, sendo que a grande maioria dos programas brasileiros de redução das emissões de carbono envolve projetos de geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Também Orsolon (2006), informa que o Brasil é o país que tem o maior número de projetos registrados na ONU, sendo que grande parte deles é de energia renovável. O autor acrescenta que para gerar créditos um projeto deve atender a alguns requisitos básicos. Um dos principais é que a ação deve ser voluntária, ela tem de contribuir para o desenvolvimento sustentável e ao mesmo tempo, reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufa em relação ao que ocorreria na sua ausência. Esta característica é chamada de adicionalidade.

Especialistas não são unânimes na aprovação ao Protocolo de Kyoto ou ao mercado de créditos de carbono, Khalili (2002) afirma que o carbono não pode ser encarado como uma commodity ambiental, pois uma commodity visa o lucro imediato, algo contrário ao ambiente e mais precisamente a sua conservação. Na verdade, o mercado de car-

bono encara a preservação ambiental de uma forma capitalista e o autor questiona: “O mundo todo já tomou o rumo da degradação seguindo este sistema. Há exclusão social e fome por toda parte. Se o mercado financeiro internacional está falido, porque devemos continuar acreditando neste modelo?”

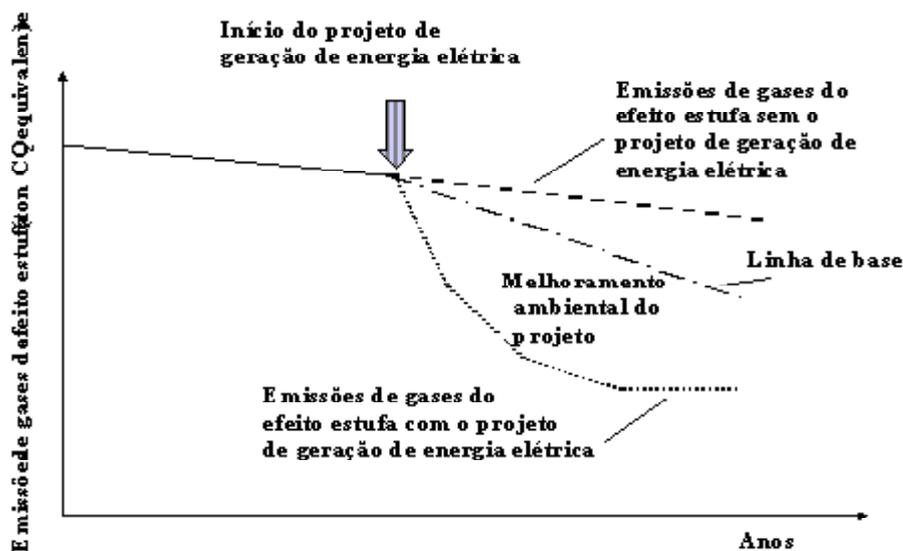
## **1 As usinas de cana-de-açúcar e sua participação no mercado de créditos de carbono**

Para que possam pleitear a participação no mercado de carbono estabelecido pelo Protocolo de Kyoto e receber os Certificados de Emissões Reduzidas, conhecidos como créditos de carbono, as usinas termoelétricas a biomassa de cana-de-açúcar precisam cadastrar seus projetos e receber a aprovação junto à UNFCCC. Esta aprovação é obtida pelo envio de seus projetos para serem analisados e aprovados fazendo com que as usinas sejam classificadas como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Desta forma, cada usina precisa elaborar e apresentar um projeto mostrando seus dados e evidenciando o quanto estará contribuindo para diminuir a emissão dos Gases de Efeito Estufa, na atmosfera.

Macedo (2004), destaca que no caso das usinas de geração de energia elétrica a biomassa de cana-de-açúcar, apesar de ser emitido carbono na fase da queima do combustível, ocorre o seqüestro do carbono da fase do crescimento da cana, assim o balanço das emissões é nulo e os créditos de carbono são obtidos devido às emissões que são evitadas pela geração de energia elétrica nestas usinas em substituição às usinas térmicas a gás natural ou a óleo combustível, que possuem um balanço de emissões desfavorável.

A metodologia que está sendo utilizada pela *United Nations Framework Convention on Climate Change*, para a análise dos projetos das usinas termoelétricas a biomassa de cana-de-açúcar é chamada de “*Baseline Methodology*” (Metodologia da Linha de Base) que é demonstrada, de forma simplificada, na Figura 1, a seguir:

Figura 1 - Metodologia da Linha de Base.



Fonte: Açúcar Guarani (2005).

- A linha superior (contínua e tracejada) representa as emissões de Gases do Efeito Estufa, devido à produção e consumo de energia elétrica, considerando que esta energia é gerada a partir da queima de combustíveis fósseis e sem a implantação do projeto de geração de energia elétrica avaliado. A linha decresce porque é previsto que no futuro, com as novas tecnologias mais eficientes já desenvolvidas, a quantidade de carbono emitido irá diminuir, para a mesma quantidade de energia elétrica gerada.
- A linha traço-ponto representa a previsão das emissões futuras sem a implantação do projeto de geração de energia elétrica avaliado e considerando, além das tecnologias atuais, as novas tecnologias que serão desenvolvidas e deverão diminuir ainda mais as emissões dos Gases do Efeito Estufa. Esta é a chamada "Linha de Base" considerada para o projeto.
- A linha pontilhada representa as emissões dos Gases do Efeito Estufa, após a implantação do projeto de geração de energia elétrica avaliado. A diferença entre as linhas traço-ponto e pontilhada determina a quantidade de Certificados de Emissões Reduzidas, a que a usina terá direito caso seu projeto seja aprovado.

A metodologia prevê também que para recebimento dos Certificados de Emissões Reduzidas, o projeto de geração de energia

elétrica seja continuamente monitorado para verificar se as especificações iniciais permanecem sendo atendidas durante todo o tempo de sua vida útil.

## 2 Metodologia da Linha de Base para avaliação de um projeto de geração de energia de energia elétrica a partir da biomassa da cana-de-açúcar

Esta metodologia baseia-se principalmente em dois documentos:

- *Approved baseline methodology - AM0015 / Version 01, "Bagasse-based cogeneration connected to an electricity grid"* (UNFCCC<sup>(1)</sup>, 2004). Esta metodologia para verificação e monitoração da Linha de Base, foi preparada pela empresa *Econergy International Corporation*, com base no projeto de geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar da usina Vale do Rosário da cidade de Morro Agudo / SP.
- *Toll for the demonstration and assessment of additionality* (UNFCCC<sup>(2)</sup>, 2004), que apresenta as ferramentas necessárias para desenvolvimento do projeto.

Para aplicação desta metodologia o projeto de geração de energia deve atender às seguintes condições:

- O bagaço utilizado deve ser fornecido pela mesma usina onde o projeto de geração de energia está sendo implantado;

- Deve existir documentação comprovando que o projeto não seria implantado pelo setor público, ou que o setor público não seja dele participante, apesar dos programas de promoção de energias renováveis existentes;
- Com a implementação do projeto não deve ocorrer aumento da produção de bagaço na usina;
- O bagaço utilizado na geração de energia não deve ser estocado por mais de um ano.

Deve-se observar que a metodologia em questão não faz menção ao aumento da produção de energia em função do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar que hoje, em sua grande maioria, é queimada na lavoura. Prática que no estado de São Paulo já possui legislação para sua eliminação.

Segundo a UNFCCC<sup>(1)</sup> (2004), para definição da Linha de Base do projeto deve ser comprovado que sua implantação irá contribuir para a diminuição das emissões de Gases do Efeito Estufa, a partir da queima de combustíveis fósseis, isto é, no sistema elétrico interligado no qual será despachada a energia elétrica gerada no projeto devem existir usinas baseadas em combustíveis fósseis que terão sua geração reduzida com a introdução da energia gerada pelo projeto em análise. Segundo a metodologia o projeto não deve levar em conta as potenciais emissões de metano geradas na armazenagem do bagaço devido o tempo de armazenagem não ser muito longo (menor que um ano), ou as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo seu transporte, por representarem valores muito pequenos que podem ser desprezados. Outras emissões como metano ou óxidos nitrosos gerados pela queima de combustíveis fósseis nos processos da usina, também devem ser desprezados.

A aplicação da metodologia prevê o cumprimento de uma série de etapas que serão descritas a seguir:

- a - Justificativa da escolha da metodologia: Devem ser apresentados os argumentos que comprovem que o projeto atende as condições descritas para aplicação da metodologia.
- b - Descrição da aplicação da metodologia ao projeto: Apresentação de como o projeto se enquadra dentro das opções previstas na metodologia para a determinação das emissões evitadas.

- c - Aplicação das ferramentas previstas no documento "*Toll for the demonstration and assessment of additionality*" (UNFCCC<sup>(2)</sup>, 2004) para determinação das condições de elaboração do projeto em relação às exigências da UNFCCC. Esta etapa prevê os seguintes passos para análise:
  - Triagem inicial baseada na data de início do projeto. O projeto deve ter sido iniciado após 01 de janeiro de 2000.
  - Identificação das alternativas à implementação do projeto. Quais as opções para a usina de cana-de-açúcar em seu segmento de negócios se comparadas com a implementação do projeto.
  - O projeto deve estar de acordo com o cumprimento às leis e normas aplicáveis do país de origem.
  - O projeto deve contar com uma análise econômica do investimento.
  - Devem ser identificadas e analisadas as principais barreiras que possam dificultar a implementação do projeto proposto.
  - Deve também ser feita uma análise comparativa com empreendimentos similares que objetivem serem classificados como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
  - Devem ser descritos os impactos positivos que serão obtidos com a aprovação do projeto.
- d - Definição das mudanças físicas na usina para implementação do projeto. Devem ser descritas quais as mudanças tecnológicas serão implementadas para o aumento da energia elétrica adicional a ser despachada no sistema elétrico. Quais equipamentos (caldeiras e geradores) serão trocados ou implementados, como será feita a interligação ao sistema de distribuição de energia elétrica local, quais serão as mudanças efetuadas no processo produtivo. Estas mudanças devem ter em vista as condições técnicas para classificação do projeto que são, a produção local do bagaço, o não aumento do bagaço gerado para a produção adicional de energia elétrica e o tempo de estocagem do bagaço menor que um ano.
- e - Cálculo das emissões reduzidas. O projeto deve conter os cálculos que demonstrem os valores previstos das reduções de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

durante sua vida útil de operação, bem como uma descrição dos dados para a obtenção destes valores como, quantidade de energia elétrica gerada e quantidade de dióxido de carbono evitado (não emitida) por MWh (mega watt hora) gerado.

- f - Monitoramento dos valores previstos. Também deve ser incluído no projeto uma descrição de como os valores previstos de energia elétrica gerada e de reduções de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) serão monitorados, armazenados e controlados. Desta forma o projeto poderá ser objeto de auditorias para verificação do cumprimento das metas previstas.
- g - O projeto também deve contar com os dados institucionais da usina como: localização, histórico, identificação, pessoas de contato e responsáveis pela elaboração e implementação do projeto.

A partir do cumprimento destas condições o projeto é submetido à análise e comentários. Sendo aprovado, o mesmo é classificado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e a empresa que o implantou passa a receber os Certificados de Emissão Reduzida, e pode negociá-los no mercado internacional.

Em consulta ao site da UNFCCC ([www.unfccc.int/Projects/Validation](http://www.unfccc.int/Projects/Validation)), observa-se que até junho de 2006 existem 46 usinas no Brasil com projetos registrados (aprovados ou em aprovação) com objetivo de obter a classificação como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, para a participação no mercado de créditos de carbono.

### **3 O balanço das emissões dos Gases do Efeito Estufa na produção e utilização da cana-de-açúcar**

Segundo Macedo *et al* (2004), a agroindústria canavieira é apontada como importante atividade na produção de energia e para a mitigação de Gases do Efeito Estufa, devido a seus produtos energéticos serem utilizados em substituição aos combustíveis fósseis (derivados de petróleo e carvão) e ao gás natural. Além da produção de álcool o processamento da cana-de-açúcar para a produção de álcool e de açúcar resul-

ta na geração do bagaço, esse resíduo também representa um diferencial ambiental positivo na medida em que vem sendo aproveitado pelas usinas como fonte de energia para a produção de calor industrial e de energia elétrica substituindo o uso de derivados de petróleo e incrementando o potencial de redução da emissão de Gases do Efeito Estufa. Porém, segundo o autor no plantio, na colheita, no transporte, no processamento e no uso dos produtos da cana-de-açúcar são consumidas grandes quantidades de energia e gerados Gases do Efeito Estufa, portanto é necessário um estudo comparativo para que se conheça o balanço energético e a real situação da emissão e seqüestro destes gases.

Os dados seguintes baseiam-se em estudo elaborado por Macedo *et al* (2004), para a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e apresentam uma comparação entre a energia consumida na produção de cana-de-açúcar e etanol, versus a energia gerada pelo etanol e pelo bagaço excedente. São apresentadas três tabelas: a Tabela 2 traz os valores da energia consumida na produção de cana-de-açúcar, a Tabela 3 mostra a energia consumida na produção do etanol e a Tabela 4 apresenta a comparação entre os dados das duas primeiras tabelas, confrontados com a energia produzida pelo etanol e pelo bagaço da cana-de-açúcar. Os dados são válidos para os processos atualmente utilizados em São Paulo.

Não foram incluídos na análise os dados de consumo de energia na produção de açúcar devido a este ser um produto alimentício e não energético.

Tabela 2 - Consumo de energia na produção de cana-de-açúcar.

Insumo agrícola e aplicação	Consumo de energia (kcal/TC) <sup>(1)</sup>	
	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
Consumo total na produção de cana-de-açúcar	48.208	45.861
Combustível (diesel) Total	19.358	17.817
Operação agrícola	9.097	9.097
Transporte	10.261	8.720
Outros insumos Total	21.880	21.074
Fertilizantes	15.890	15.152
Calcário	1.706	1.706
Herbicidas	2.690	2.690
Inseticidas	190	190
Mudas	1.404	1.336
Equipamentos Total	6.970	6.970

Fonte: Macedo *et al*, 2004.

(1) kcal/TC = kilo caloria / Tonelada de Cana-de-açúcar.

(2) A coluna "Média" é baseada nas médias de consumo de energia e insumos. A coluna "Melhor Valor" é baseada nos melhores valores praticados (valor mínimo de consumo com o uso da melhor tecnologia praticada).

Tabela 3 - Consumo de energia na produção de etanol.

Insumo industrial	Consumo de energia (kcal/TC) <sup>(1)</sup>	
	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
<b>Consumo total na produção de etanol</b>	11.800	9.510
Energia elétrica Total	0	0
Produtos químicos e lubrificantes Total	1.520	1.520
Construção e manutenção Total	10.280	7.990
Edificações	2.860	2.220
Equipamentos pesados	3.470	2.700
Equipamentos leves	3.950	3.070

Fonte: Macedo *et al*, 2004.

(1) kcal/TC = kilo caloria / Tonelada de Cana-de-açúcar.

(2) A coluna "Média" é baseada nas médias de consumo de energia e insumos. A coluna "Melhor Valor" é baseada nos melhores valores praticados (valor mínimo de consumo com o uso da melhor tecnologia praticada).

Tabela 4 - Balanço de energia na produção e utilização de cana-de-açúcar e etanol.

Atividade de produção	Consumo de energia (kcal/TC) <sup>(1)</sup>	
	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
<b>Consumo total de energia</b>	60.008	55.371
Produção de cana-de-açúcar	48.208	45.861
Produção de etanol	11.800	9.510
Produto	Produção de energia (kcal/TC) <sup>(1)</sup>	
	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
Produção total de energia	499.400	565.700
Etanol	459.100	490.100
Bagaço excedente	40.300	75.600
Balanço energético total	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
Diferença: Produção – Consumo	439.392 (kcal/TC) <sup>(1)</sup>	510.329 (kcal/TC) <sup>(1)</sup>
Relação: Produção / Consumo	8,32 (adimensional)	10,22 (adimensional)

Fonte: Macedo *et al*, 2004.

(1) kcal/TC = kilo caloria / Tonelada de Cana-de-açúcar.

(2) A coluna “Média” é baseada nas médias dos valores encontrados para o consumo (de energia e insumos) e para a produção de energia. A coluna “Melhor Valor” é baseada nos melhores valores praticados (valor mínimo de consumo e valor máximo de energia produzida com o uso da melhor tecnologia praticada).

Os dados apresentados por Macedo *et al* (2004), mostram uma relação favorável entre a energia produzida e a consumida no processo de produção do etanol. Como mostrado no item 5, esta relação poderia ser ainda melhor caso a cana-de-açúcar estivesse sendo colhida sem a queima no campo (ou com queima apenas parcial) e a biomassa excedente estivesse sendo utilizada para geração de energia elétrica. Os autores consideram que, para análise do fluxo de Gases do Efeito Estufa, na produção e utilização da cana-de-açúcar e seus derivados, as emissões devem ser divididas em 04 grupos:

- Grupo 1: Emissões associadas à fixação de carbono atmosférico por fotossíntese e à sua liberação gradual por oxidação dentro do ciclo de produção e utilização dos produtos da cana-de-açúcar. Segundo Macedo *et al* (2004) este conjunto de fluxos é praticamente neutro, pois se admite que todo o carbono fixado é liberado novamente dentro do ciclo de produção da cana-de-açúcar e na utilização final do etanol e do bagaço.
- Grupo 2: Fluxos associados aos usos de combustíveis fósseis na produção de todos os insumos agrícolas e industriais para a

produção de cana e etanol; e também na produção de equipamentos (agrícolas e industriais) e construção de prédios e instalações. Segundo os autores esses fluxos são negativos, pois contribuem para o aumento das emissões.

- Grupo 3: Fluxos não associados ao uso de combustíveis fósseis, são principalmente o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o metano (CH<sub>4</sub>). Para os autores esses fluxos também são negativos, pois contribuem para o aumento das emissões.
- Grupo 4: Fluxos chamados virtuais, que correspondem às emissões de Gases do Efeito Estufa que ocorreriam, na ausência de etanol e do bagaço excedente em substituição à gasolina automotiva e ao óleo combustível. Esses fluxos são positivos.

Considerando esses quatro grupos de emissões, o balanço dos de “Gases do Efeito Estufa – GHG”, na produção e utilização da cana-de-açúcar é mostrado na Tabela 5:

Tabela 5 - Balanço dos Gases do Efeito Estufa - GHG, na produção e utilização dos produtos energéticos da cana-de-açúcar.

Emissões de GHG	Valores (kg CO <sub>2</sub> eq/TC) <sup>(1)</sup>	
	Média <sup>(2)</sup>	Melhor valor <sup>(2)</sup>
Total de emissões	34,5	33,0
Combustíveis fósseis	19,2	17,7
Metano e N <sub>2</sub> O, queima da palha	9,0	9,0
N <sub>2</sub> O do solo	6,3	6,3
<b>Emissões Evitadas de GHG</b>	<b>Média<sup>(2)</sup></b>	<b>Melhor valor<sup>(2)</sup></b>
Total de emissões evitadas	Etanol anidro → 255,0	Etanol anidro → 282,3
	Etanol hidratado → 181,9	Etanol hidratado → 204,1
Uso de bagaço excedente	12,5	23,3
Uso de etanol	Etanol anidro → 242,5	Etanol anidro → 259,0
	Etanol hidratado → 169,4	Etanol hidratado → 180,8
<b>Balanço final</b>	<b>Média<sup>(2)</sup></b>	<b>Melhor valor<sup>(2)</sup></b>
Emissões Evitadas - Emissões	Etanol anidro → 220,5	Etanol anidro → 249,3
	Etanol hidratado → 147,4	Etanol hidratado → 171,1

Fonte: Macedo *et al*, 2004.

(1) kg CO<sub>2</sub>eq/TC = quilograma de CO<sub>2</sub> equivalente por Tonelada de Cana.

(2) A coluna “Média” é baseada nas médias dos valores encontrados para as emissões e para as emissões evitadas. A coluna “Melhor Valor” é baseada nos melhores valores encontrados (valor mínimo de emissões e valor máximo de emissões evitadas).

Nos dados acima se observa que a agroindústria canavieira não contribui para o seqüestro de carbono da atmosfera, pois todo o carbono retirado da atmosfera durante a fase de crescimento da planta é depois devolvido à atmosfera na fase de utilização dos produtos da cana-de-açúcar, porém contribui para a redução dos Gases do Efeito Estufa, através das emissões evitadas, pois os produtos energéticos da cana-de-açúcar (etanol e bagaço excedente) substituem combustíveis fósseis e gás natural, que são emissores destes gases impedindo que novas emissões ocorram na atmosfera.

#### 4 Possibilidades de aumento na mitigação dos Gases do Efeito Estufa pela agroindústria canavieira

Nos últimos anos a agroindústria canavieira vem promovendo investimentos em seu parque industrial e com isso aumentando sua participação na mitigação dos Gases do Efeito Estufa. Essa participação vem ocorrendo basicamente de três formas:

- Aumento da produção de etanol, via aumento da área plantada e das indústrias. Existem hoje 30 projetos em fase de implantação no Brasil (ProCana, 2005).
- Aumento da Biomassa disponível para substituição de combustíveis fósseis. Para atender a esta possibilidade, além do aumento da área plantada, a outra medida é a redução da queima da cana na colheita com utilização da palha como biomassa para geração de energia elétrica nas usinas. No estado de São Paulo esta prática esta determinada por Lei Estadual que determina a eliminação gradual das queimadas.
- Aumento na eficiência das usinas geradoras de energia elétrica a biomassa através da implementação de equipamentos mais modernos e eficientes como as caldeiras de alta pressão em ciclo combinado e geradores de melhor rendimento.

Destas possibilidades a que traria maior impacto ambiental positivo, seria o aumento da biomassa através da eliminação da queima da cana-de-açúcar na colheita. Esta

prática, no entanto, apesar de já instituída por lei exige um investimento na aquisição de equipamentos (colheitadeiras) que são necessários para a colheita da cana crua.

Campos (2003), comparando os manejos da cana-de-açúcar com e sem queima concluiu que em um período de 3 anos no Latossolo Vermelho ocorreu uma mitigação das emissões dos gases do efeito estufa de cerca de 5 Mg C-CO<sub>2</sub> há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Desta forma pode-se concluir que o sistema de manejo de colheita sem a queima prévia do canavial, atua de maneira significativa no seqüestro de carbono, aumentando a eficiência do agronegócio da cana-de-açúcar.

Em Macedo (2000), foi elaborado estudo considerando que 55% da cana-de-açúcar plantada no estado de São Paulo, seria colhida crua, esta porcentagem pode variar de região para região, porém esta estimativa é considerada como possível de se obter. Duas principais hipóteses foram estudadas para a colheita da cana crua visando analisar a mitigação dos Gases do Efeito Estufa.

- 1 - Corte da cana picada e transporte de 100% da palha;
- 2 - Corte da cana picada e transporte de 50% da palha, sendo o restante deixado no campo como cobertura vegetal.

Os resultados dos casos estudados estão mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Variação total nas Emissões de CO<sub>2</sub> com o uso da palha da cana-de-açúcar como combustível (considerando 55% da área plantada colhida sem queima).

Hipótese	Aumento do consumo de diesel na produção kg CO <sub>2</sub> eq/TC <sup>(1)</sup>	Substituição de combustível fóssil kg CO <sub>2</sub> eq/TC <sup>(1)</sup>	Substituição Total kg CO <sub>2</sub> eq/TC <sup>(1)</sup>	Total para o Brasil considerando uma produção total de 300 x 10 <sup>6</sup> TC/ano 10 <sup>9</sup> T CO <sub>2</sub> /ano <sup>(2)</sup>
1 - Corte da cana picada e transporte de 100% da palha	+ 7,3	- 139	- 131,7	- 39,5
2 - Corte da cana picada e transporte de 50% da palha	+ 2,3	- 87,5	- 85,2	- 25,6

Fonte: Macedo, 2000.

<sup>(1)</sup> kg CO<sub>2</sub>eq/TC = kilograma de CO<sub>2</sub> equivalente por Tonelada de Cana.

<sup>(2)</sup> T CO<sub>2</sub>/ano = Tonelada de CO<sub>2</sub> por ano.

## Conclusões

Pela metodologia apresentada, a maioria das usinas de cana-de-açúcar no Brasil poderia obter a classificação de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, pois esta maioria ainda queima o bagaço produzido na cultura da cana-de-açúcar de forma pouco eficiente, existindo ainda muito potencial energético a ser explorado neste resíduo.

O interesse dos produtores das usinas de cana-de-açúcar do Brasil pelo mercado

de créditos de carbono pode ser considerado grande, pois o número de projetos registrados na UNFCCC ultrapassa 13 % das usinas existentes no país.

O mercado de créditos de carbono pode ser uma instituição que virá a contribuir em muito para o setor sucroalcooleiro no Brasil, não só pela possibilidade de mais uma fonte de renda para o setor, obtida com a venda dos Certificados de Emissões Reduzidas, como também na melhora de sua imagem perante a opinião pública, pois se os

produtores passarem a diminuir a queima da cana-de-açúcar no campo para aproveitar a palha da cana-de-açúcar na geração da energia, ocorrerá uma significativa contribuição para a melhoria das condições ambientais nas regiões da cultura da cana.

Além da possibilidade de contribuição para a redução dos Gases do Efeito Estufa, o setor sucroalcooleiro pode também contribuir para a diversificação e descentralização da matriz energética brasileira, pois o potencial energético disponível com o aproveitamento da biomassa é significativo e pode tornar-se o terceiro segmento de negócios para as usinas de cana-de-açúcar.

### Referências

- Como medir os benefícios ambientais do projeto da Guarani? Açúcar Guarani, 2005. Disponível em: <<http://www.acucarguarani.com.br>>. Acesso em 1 de maio 2005.
- CAMPOS, D. C. *Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono*. Piracicaba-SP, 2003. 117 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2003.
- JUNQUEIRA, M. O Brasil é líder em projetos de carbono. *Gazeta Mercantil*, São Paulo-SP, 07 de abril de 2006.
- KHALILI, A. E. Quem será beneficiado pelos créditos de carbono? *Revista Eletrônica Comciência*. Disponível em: <<http://www.comciencia.br>>. Acesso em 10 de ago. 2002.
- MACEDO, I. C. *O Ciclo da Cana-de-Açúcar e reduções adicionais nas emissões de CO<sub>2</sub> através do uso como combustível da palha da Cana*. Piracicaba-SP: Centro de Tecnologia Copersucar, 2000. 9f.
- MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. *Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil*. São Paulo-SP: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2004.
- ORSOLON, M. Crédito de Carbono. *Potência*, São Paulo-SP, n. 14, p. 16-26, abril de 2006.
- PEARCE, F. *O aquecimento global*. São Paulo-SP: Publifolha, 2002. 72p.
- \_\_\_\_\_. *Um mercado de R\$ 40 Bilhões*. ProCana, Ribeirão Preto-SP, maio de 2005.
- ROCHA, M. T. *Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT*. 2003. 214 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.
- SCARPINELLA, G. A. *Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto*. 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2002.
- UNFCCC<sup>(1)</sup> *United Nations Framework Convention on Climate Change - "Approved baseline methodology - AM0015 / Version 01, Bagasse-based cogeneration connected to an electricity grid"* 2004. 21f. United Nations , 22/September/2004.
- UNFCCC<sup>(2)</sup> - *United Nations Framework Convention on Climate Change - "Toll for the demonstration and assessment of additionality"*. 2004. 9f. United Nations, 22/October/2004.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <[www.unfccc.int/Projects/Validation](http://www.unfccc.int/Projects/Validation)>. Acesso em 17 jul. 2005.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <[www.unfccc.int/Projects/Validation](http://www.unfccc.int/Projects/Validation)>. Acesso em 20 jun. 2006.
- VILLANUEVA, L. Z. D. *Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro*, 2002. 116 f. Tese (Doutorado) - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2002.

