



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E BALANÇO ENERGÉTICO DO ETANOL DA CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA**

**Díaz, Marco Antonio Díaz, marcodd1@gmail.com**

**Carvalho, Victor Cabral da Hora Aragão, victorcarvalhorj@gmail.com**

**Gomes, Marcos Sebastião de Paula, mspgomes@puc-rio.br**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

**Resumo:** *Em dezembro de 2008, o Parlamento Europeu aprovou um acordo para reduzir em 20% as emissões de GEE até 2020, sendo que os bicombustíveis irão responder por 10% dos combustíveis utilizados no setor de transportes. Assim, se o Brasil quiser se transformar em um fornecedor de etanol para aquela região, não basta produzir um combustível eficiente na redução das emissões de GEE. Para que seja aprovado para consumo no exterior, ele deverá passar por um processo de certificação. Neste trabalho é desenvolvida uma avaliação do ciclo de vida (ACV) para avaliar o consumo de energia e as emissões atmosféricas do etanol a partir da cana brasileira, levando em conta todas as entradas/saídas do ciclo de produção. Mostra-se que os biocombustíveis, como o etanol brasileiro de cana, podem ser produzidos de forma adequada e sustentável, respeitando as restrições ambientais, preservando os recursos aquíferos e utilizando tecnologias apropriadas para reduzir as emissões.*

*O sistema analisado inclui o plantio de cana, o manejo da cultura, a colheita, as atividades na usina, a distribuição e o uso do etanol. O objetivo deste trabalho é analisar e identificar os principais causadores dos impactos no meio ambiente consequentes da produção do etanol de cana-de-açúcar nas condições atuais, indicando algumas sugestões para minimizá-los. Também analisa-se o consumo de energia fóssil durante o processo, a produção de energia renovável, o balanço energético e as emissões dos principais gases de efeito estufa ( $CH_4$ ,  $N_2O$  e  $CO_2$ ).*

**Palavras-chave:** *Avaliação do ciclo de vida (ACV), Balanço energético, Certificação Ambiental, Etanol de cana-de-açúcar.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os biocombustíveis líquidos (principalmente o etanol) estão sendo cada vez mais importantes para a matriz energética mundial, por serem o único tipo de energia renovável que pode ser usada no setor de transporte, assim, competindo com os combustíveis fósseis que substituem (gasolina e óleo diesel). Bioenergia (2009) indica que em dezembro de 2008, o Parlamento Europeu aprovou um acordo sem precedentes para reduzir em 20% as emissões dos gases causadores do efeito estufa na UE até 2020. No mesmo prazo, a eficiência energética e a participação de fontes renováveis no consumo de energia devem aumentar 20%, com os bicombustíveis respondendo por 10% dos combustíveis usados nos transportes. De acordo com EPE (2008) os Estados Unidos devem consumir em 2020 aproximadamente 140 milhões de  $m^3$  de etanol. O consumo interno de etanol em Japão e na China para o ano 2020 se estima que seja de 6000 e 7000 milhões de  $m^3$  respectivamente. Com esses prognósticos podem se abrir novas perspectivas para a exportação do etanol brasileiro, suprimindo o que a produção local não for capaz de ofertar.

No entanto, para garantir a redução do aquecimento global, precisamos garantir que o futuro suprimento energético seja obtido de forma sustentável. Assim, não basta ao Brasil produzir um etanol eficiente na redução de emissões de GEEs. Para que se aprove seu consumo no exterior, é preciso passar por um processo de certificação que vai garantir ao importador que a produção do etanol observou regras sócio-ambientais preestabelecidas. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar uma avaliação do ciclo de vida (ACV) do etanol da cana de açúcar brasileira, quantificando os fluxos de energia e avaliando o consumo de energia renovável, valorando os insumos, serviços e as emissões atmosféricas.

Todas as etapas de produção do etanol precisam da energia contida em fontes fósseis de carbono (por exemplo, petróleo e gás natural) para as operações agrícolas, síntese industrial e distribuição ao consumidor. Macedo (1998) encontrou que nessas etapas, também ocorrem emissões de outros GEE, como metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). A avaliação de quanta energia fóssil é necessária para se produzir etanol da cana-de-açúcar tem sido feita por vários autores brasileiros (Alves et al, 2009; Boddey et al, 2008; Macedo et al 2007). Estes autores concordam que o balanço energético (razão entre a energia total contida no bicombustível produzido e a energia fóssil investida na sua produção), fica próximo de 8,5 a 9,5. Assim, levou-se em conta: O investimento de energia fóssil no sistema de produção de etanol; as emissões dos GEE ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) durante a produção da cana-de-açúcar e na sua conversão em etanol e finalmente a mitigação dos GEE na substituição da gasolina e diesel pelo etanol.

## 2. ENERGIA FÓSSIL EMPREGADA NA PRODUÇÃO DE ETANOL

É necessário realizar o balanço energético do sistema para calcular as emissões de gases em todo o processo de produção de etanol de cana-de-açúcar. Para calcular o balanço energético da produção de cana foram usados dados do IBGE (2010), fornecendo as seguintes informações: a área colhida de cana-de-açúcar na safra de 2009 foi de 8.603,957 ha; a produção total de cana foi de 68729.114 t; o rendimento médio foi de 79,8 t  $\text{ha}^{-1}$  de colmos frescos e a produção de etanol por hectare foi de 7,04  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ .

A etapa de manejo da cultura da cana-de-açúcar varia entre as usinas, Macedo et al (2007), segundo consultas a usineiros da zona Centro-Sul do país, chegaram a uma “média padrão”. A média padrão adotada pelos usineiros é de um ciclo de plantio é de 6 anos, com um ciclo de cana-planta de 18 meses, iniciado após um pousio de 6 meses, seguida por 4 socas colhidas em intervalos de 12 meses. Segundo Macedo (1998), estima-se que a cada novo plantio (a cada seis anos) são adicionados 2 t de calcário  $\text{ha}^{-1}$ . A aplicação recomendada de P e K é de 16 e 83  $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . Alves et al (2009) empregam 93,25  $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  e um fator energético de 8,52  $\text{MJ kg}^{-1}$  para a energia empregada pelas máquinas, onde se incluem tratores e implementos agrícolas utilizados na produção da cana-de-açúcar, assim, a energia consumida foi considerada como 794,49  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ .

O consumo de energia fóssil na fertilização nitrogenada é a mais representativa, visto que a uréia é produzida pelo tradicional processo Håber-Bosch, sob temperaturas e pressões altas, alimentada por gás natural. Segundo Alves et al (2009), no Brasil a quantidade média de N-fertilizante adicionado é de 57  $\text{kg de N ha}^{-1}$ .

Outras fontes importantes de energia fóssil são os herbicidas e inseticidas. Alves et al (2009), relatam que foram utilizados 3,2  $\text{kg de herbicidas ha}^{-1}$  na cultura da cana-de-açúcar em 2006. Devido à complicada síntese dos herbicidas, estes produtos necessitam de grandes quantidades de energia fóssil na sua fabricação industrial, sendo estimadas em 452  $\text{MJ por kg de ingrediente ativo}$ . A utilização de inseticidas foi de 0,24  $\text{kg de inseticida ha}^{-1}$ . Para BNDES (2008), 2,20  $\text{kg de herbicidas e 0,12 kg de inseticidas}$  são os valores recomendados para aplicar num hectare. Pode-se observar que o ingresso de energia fóssil desta fonte é pequeno; para nosso estudo foram tomados os primeiros dados destes parâmetros agrícolas.

O transporte da cana do campo para a usina é uma atividade com grande consumo de óleo diesel, Alves et al (2009), assumem que os tratores carregam 28 t de cana (considerada a carga máxima) e percorrem 1600  $\text{km por m}^3$  de óleo diesel, e quando descarregados, rendem 3000  $\text{km por m}^3$  de diesel. Com cinco colheitas em seis anos, consomem-se 0,0433  $\text{m}^3$  de diesel  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . O diesel também é consumido no transporte de insumos para as usinas e lavouras. Boddey et al (2008), calculam que o combustível necessário para levar estes produtos é de 0,0058  $\text{m}^3$  de diesel por ha, o que corresponde a 277  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . No entanto, nas usinas brasileiras se produz toda a energia que se consome (pela queima do bagaço em caldeiras de alta pressão, cujo vapor gerado aciona turbinas que produzem eletricidade em unidades de co-geração), por isso Boddey et al (2008), indicam também que os maiores ingressos de energia fóssil na usina estão associados ao material usado nas construções e nos seus equipamentos.

Segundo a metodologia empregada por Carvalho (2010), para a distribuição do etanol (trajeto usina-posto de abastecimento) precisa-se de 378,38  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , empregando-se 0,0106  $\text{m}^3$  de óleo diesel  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . No BEN (2008), o valor calorífico de 1  $\text{m}^3$  de óleo diesel foi de 35.520  $\text{MJ}$ , dado que foi empregado em todos os cálculos do balanço energético.

O cálculo do balanço energético foi feito supondo que a maioria da colheita da cana ainda é feita manualmente após a queimada, o que ocorre em aproximadamente 60% da área canavieira nacional como ilustrado na Tabela (1). O total de energia fóssil utilizada nas operações de campo (incluindo o transporte de cana e a provisão dos insumos) e na distribuição do etanol foi de 14.283,825  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . Alves et al (2009), consideram que 1  $\text{m}^3$  de etanol produz na combustão 21450  $\text{MJ de energia e}$ , segundo o IBGE (2010) um ha de cana-de-açúcar produz 7,04  $\text{m}^3$  de etanol, ou 151.008  $\text{MJ de energia}$ . O balanço energético total de produção de etanol no Brasil é de 10,57:1, o que significa que, para cada 1,0  $\text{MJ de energia fóssil consumida}$ , produzem-se 10,57  $\text{MJ de energia renovável}$ . Furuholt (1995) mostra que 1,0  $\text{MJ de energia fóssil}$  são consumidos para produzir 8,33  $\text{MJ de diesel}$ . Comparando os dois balanços, o uso de etanol é de maior conveniência energética e ambiental.

**Tabela 1. Balanço energético do etanol de cana-de-açúcar no Brasil e consumo de energia fóssil. Os valores estão expressos na base por ha.**

ENTRADAS			ENERGIA	
ITEM	Quant. Bas.	Unid. Bas./ha.ano	Fator Energ. MJ/Unid. Bas.	MJ/ha.ano
<b>PLANTIO DA CANA</b>				
Máquinas	93,25	kg	8,52	794, 490
Óleo Diesel	0,01440	m <sup>3</sup>	35.520	511, 488
Mão-de-Obra	12,8	h	7,84	100, 352
Herbicidas	3,2	kg	451,66	1445, 312
Calcário	367	kg	1,31	480, 770
Nitrogênio	56,7	kg	54	3061, 800
Fósforo	16	kg	3,19	51, 040
Potássio	83	kg	5,89	488, 870
Sementes <sup>a</sup>	2000	kg	0	286, 263
Transp. de Insumos <sup>b</sup>	0,0058	m <sup>3</sup>	35.520	206, 016
Transporte da Cana <sup>c</sup>	0,04325	m <sup>3</sup>	35.520	1536, 240
Subtotal				8962, 641
<b>MANEJO DA CULTURA</b>				
Máquinas	18,65	kg	8,52	158, 898
Óleo Diesel	0,002226	m <sup>3</sup>	35520	79, 068
Mão-de-Obra	12,8	h	7,84	100, 352
Inseticidas	0,24	kg	363,83	87, 319
Aplicação de vinhaça	180	m <sup>3</sup>	3,64	655, 200
Subtotal				1080, 837
<b>COLHEITA</b>				
Máquinas	74,6	kg	8,52	635, 592
Óleo Diesel	0,008904	m <sup>3</sup>	35.520	316, 270
Mão-de-Obra	38,4	h	7,84	301, 056
Subtotal				1252, 918
<b>USINA</b>				
Aço leve estrutural	28,06	kg	30,00	841, 800
Aço leve em equipamentos	23,12	kg	30,00	693, 600
Aço inoxidável	4	kg	71,70	286, 800
Cimento	11,49	kg	6,61	75, 949
Retificação ate 99.5%				225, 300
Reagentes químicos usados na usina <sup>d</sup>				487, 600
Subtotal				2611, 049
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>				
Óleo diesel	0,01060	m <sup>3</sup>	35.520	376, 380
Subtotal				376, 380
<b>TOTAL</b>				<b>14283, 825</b>
Rendimento Cana de açúcar	79880701	kg		
Produção total de etanol	7,04	m <sup>3</sup>	21450	151.008, 000
<b>Balanço Energético final</b>				<b>10, 572</b>

<sup>a</sup> Estimado como correspondente a 2,6% de todas as entradas agrícolas. <sup>b</sup> Transporte de máquinas, implementos, etc, para a lavoura. <sup>c</sup> Transporte de cana colhida para a usina. <sup>d</sup> Alves et al (2009).

### 3. EMISSÕES DE GEE DURANTE A PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, CONVERSÃO EM ETANOL E SUA DISTRIBUIÇÃO.

Segundo o IPCC (2006), uma molécula de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O possuem, na atmosfera, um potencial de efeito estufa GWP (global warming potential) de 21 e 310 vezes maior do que o de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Pequenas emissões destes gases, durante a fabricação dos insumos, nas operações agrícolas, na usina e na distribuição do etanol podem contribuir significativamente para o aquecimento global. Outras origens significativas de CH<sub>4</sub> são a aplicação da vinhaça e a queima da palha, mais por outro lado as emissões mais importantes de N<sub>2</sub>O são pela aplicação de fertilizantes nitrogenados, tortas filtro e outras fontes de nitrogênio.

N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> são produzidos em pequenas quantidades na combustão de petróleo, óleo diesel e outros combustíveis como carvão mineral. Segundo o IPCC (2006) a combustão de petróleo para produzir 1 GJ de energia produz 73,3 kg CO<sub>2</sub>, 0,003 kg CH<sub>4</sub> e 0,00006 kg de N<sub>2</sub>O. Para 1 GJ de energia derivada de óleo diesel e carvão mineral são emitidos 74,1 kg CO<sub>2</sub>, 0,003 kg CH<sub>4</sub> e 0,00006 kg N<sub>2</sub>O e 94,6 kg CO<sub>2</sub>, 0,001 kg CH<sub>4</sub> e 0,0015 kg N<sub>2</sub>O, respectivamente.

Na área de colheita após a queima da palha, a emissão de CH<sub>4</sub> é significativa. Alves et al (2009) consideram que o total de palha de cana depositada é de 16,4 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, sendo que o 83% da palha depositada é queimada, nos dando um resultado de 13,61 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Como não há dados específicos para a queima da cana quanto às emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, os fatores fornecidos pelo IPCC (2006) para a queima de resíduos agrícolas foram utilizados. Para cada Mg. de palha queimada com uma eficiência de 80%, são produzidos 2,7 kg de CH<sub>4</sub> e 0,07 kg de N<sub>2</sub>O dando como resultado 22,051 e 0,571 Kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> respectivamente.

Anualmente, parte do N retorna ao solo com a palha, mas se esta é queimada, o N é perdido e há emissão de N<sub>2</sub>O. Boddey et al (2008) mostram que existe a adição de N-fertilizante, estimada em 57 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Os fatores de emissões do IPCC (2006) indicam que 1,0 % do N adicionado ao solo é liberado como N<sub>2</sub>O. Assim, a emissão de N<sub>2</sub>O a partir da torta de filtro e fertilizante juntos totaliza 0,66 kg N ou 1,04 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Não há muitos dados sobre a emissão de CH<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub>O da vinhaça.

As doses de vinhaça, tradicionalmente, variam de 80 a 150 m<sup>3</sup> por ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, e carregam consigo uma grande quantidade de material orgânico e nutrientes. A vinhaça é distribuída por ferti-irrigação, chegando aos locais de aplicação por canais abertos. Alves et al (2009) consideram que 0,2% do carbono contido na vinhaça é emitido como CH<sub>4</sub>; neste caso, a emissão de CH<sub>4</sub> ficou em 2,56 kg ha<sup>-1</sup>, e as emissões de N<sub>2</sub>O foram estimadas em 314 g ha<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub>O, segundo o IPCC (2006).

Para realizar um balanço das emissões dos GEE, toda energia utilizada na produção de etanol (atividades agrícolas e industriais) foi convertida em unidades de CO<sub>2</sub> equivalentes (CO<sub>2</sub> eq.), e os resultados estão sumarizados na Tab. (2). Podemos ver que as emissões de CO<sub>2</sub> fóssil predominam no plantio da cana, devido ao uso intensivo do maquinário e implementos agrícolas. Durante o manejo da cultura há emissões significativas de N<sub>2</sub>O devido às aplicações de N como fertilizante e devido às emissões do solo ou de outras fontes, como a aplicação de vinhaça e tortas, que constituem 63,43% das emissões totais em de CO<sub>2</sub> eq. Nessa fase. Na colheita, a queima da cana é responsável por grandes emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, que totalizam 4630,71 kg e 177,01 kg de CO<sub>2</sub> eq. Respectivamente, para 60% da área colhida com queima, totalizando 44% de todas as emissões de GEE no processo de produção de etanol.

**Tabela 2. Emissões realizadas dos GEE (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) durante as etapas de Produção e distribuição de etanol de cana-de-açúcar.**

Etapa de produção	Gases Efeito Estufa			
	kg/ha.ano			
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> eq <sup>a</sup>
Plantio da cana	0,0084	0,00134	537,85	717,938
Manejo da Cultura	2,561	1,3543	34,647	508,246
Colheita	22,0539	0,5727	340,723	1039,844
Usina	0	0	0	66,476
Distribuição	0,0011	0,000023	27,9	27,92
<b>Emissão total de GEE fóssil</b>				<b>2360,424</b>

<sup>a</sup> IPCC (2006) descreve que cada mol de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O é considerado como equivalente a 21 e 310 mols de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Segundo Boddey et al (2008), a proporção dos itens ou entradas a serem avaliadas em cada uma das etapas da produção do etanol é a seguinte: no plantio da cana se utilizam 50% do total das máquinas e do óleo diesel, 20% do total de mão-de-obra, 100% dos transportes, operações de plantio, e aplicações de fertilizantes, herbicidas e cal. Na etapa de Manejo da Cultura se utilizam 10% do total das máquinas e do diesel, 20% do total de mão de obra, inseticidas, irrigação e emissões do solo derivadas do fertilizante e da vinhaça. Na colheita 40% do total das máquinas e do diesel é empregado, 60% de mão-de-obra, e as emissões de resíduos após queima da cana (60% da área). Para a usina, as emissões dos materiais de construção de suas instalações (aço e cimento) foram tomadas em conta. Na Figura

(1) mostra-se um fluxograma resumindo todas as entradas de Energia e Emissões de GEE do Ciclo de Vida do Etanol da Cana de Açúcar.

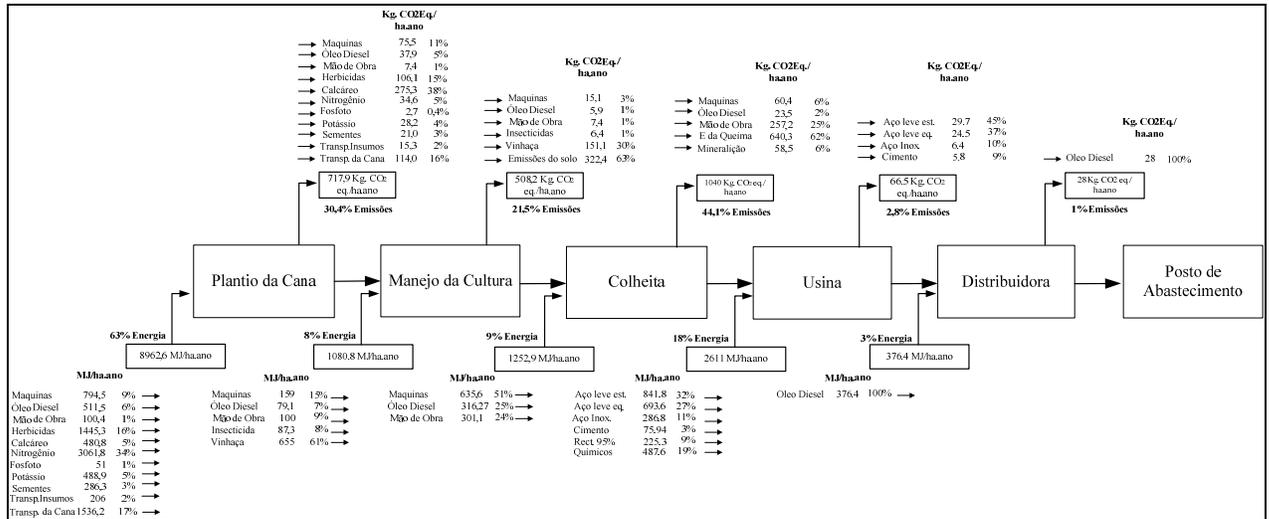


Figura 1. Fluxograma de Energia e Emissões de GEE do Ciclo de Vida do Etanol da Cana-de-Açúcar.

#### 4. MITIGAÇÃO DOS GEE DEVIDO AO USO DO ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBSTITUINDO AO DIESEL OU GASOLINA

Alves et al (2009) mostram que ao chegar ao posto de abastecimento (antes da combustão), um litro de gasolina e óleo diesel já emitiram, para a atmosfera, 507 e 510,4 g de CO<sub>2</sub>, respectivamente (correspondentes aos GEE emitidos pela indústria na extração, refino, processamento e transporte deste combustível). Somamos estes valores ao CO<sub>2</sub> produzido na queima no motor, um litro de gasolina emite (na sua fabricação e combustão) um total de 3,65 kg e 1 litro de diesel, 4,01 kg de CO<sub>2</sub>eq., respectivamente. Alves et al (2009) também comparam dois veículos semelhantes produzidos no Brasil pela mesma empresa, um deles equipado com motor diesel e outro com motor *totalflex*. A caminhonete diesel apresenta consumo médio de 13,5 km l<sup>-1</sup> e a caminhonete *totalflex* percorre 10,4 e 7,2 km para cada litro de gasolina ou álcool abastecido, respectivamente e sem mistura. Utilizando esses valores, em uma viagem de 50 km o veículo a diesel libera 14, 837 kg de CO<sub>2</sub> eq. para a atmosfera. O veículo *flex* que utiliza gasolina pura emite, no mesmo trajeto, 17, 548 kg de CO<sub>2</sub>. Para esse mesmo veículo *flex*, utilizando etanol, o consumo é de 7,2 km l<sup>-1</sup>. Assim, nos mesmos 50 km percorridos há um gasto de 6,94 litros de etanol e uma emissão total de 3,459 kg de CO<sub>2</sub>eq., 5 vezes menos do que se rodasse com gasolina pura, o que representa uma mitigação de 76,7% na emissão de GEE. No Brasil, onde se adiciona até 24% de etanol à gasolina, o veículo emitiria 14,3 kg de CO<sub>2</sub> eq. Isso significa que a gasolina no padrão brasileiro emite 18,5% menos de GEE do que a gasolina convencional (sem adição de álcool, os cálculos estão sumarizados na Tab. (3).

Tabela 3. Rendimento, Consumo e Produção de CO<sub>2</sub> por automóvel (S10 cabina simples) com motores de potência semelhante que rodam com diesel, gasolina convencional, etanol e gasolina brasileira (misturada com 23% etanol).

Combustível	Rendimento	Consumo	Emissões
	Km/L	Litros	Kg CO <sub>2</sub> eq./L
Diesel	13,5	3,7	14,84
Gasolina	10,4	4,8	17,55
Etanol	7,2	6,9	3,46
Gasolina Brasileira (24% etanol)	9,6	5,19	14,31

Alves et al (2009) consideram que a caminhonete *totalflex* percorre 10,4 e 7,2 km para cada litro de gasolina ou álcool abastecido, respectivamente, significando que os 7.040 litros de etanol produzidos por 1 ha de cana (dado do IBGE (2010)), fazem um carro andar o mesmo que 4.873,84 litros de gasolina - uma distância de 50.688 km. Com os valores das emissões em CO<sub>2</sub> eq. mostrados na Tab. (3), a caminhonete com gasolina emite 17.789,516 kg CO<sub>2</sub> eq. para a atmosfera. A mesma caminhonete abastecida com etanol de cana, para a mesma distância, emite somente 3.495,36 kg

de CO<sub>2</sub> eq. A diferença entre esses dois valores (14.294 kg de CO<sub>2</sub> eq.) representa a emissão evitada por um ha de cana utilizada para a produção de etanol, quando é usado substituindo a gasolina convencional.

## **5. CONCLUSÕES**

Neste artigo mostrou-se que o balanço energético total de produção de etanol no Brasil é aproximadamente de 10:1; ou seja, que para cada unidade de energia fóssil consumida, produz-se em torno de 10 MJ de energia renovável. O balanço dos GEE indica que um veículo usando etanol de cana de açúcar emite 76,7% menos de CO<sub>2</sub> eq. que o mesmo veículo rodando no mesmo percurso com gasolina pura, caso o veículo use gasolina no padrão brasileiro emitirá 18,5% menos de GEE do que a gasolina convencional (sem adição de álcool).

Na etapa da colheita são emitidos 44% das emissões totais do processo de produção de etanol, principalmente devido à queima da cana. Futuramente, espera-se que este número caia bastante, devido à lei federal 2.661,1998 que vetará o uso da queimada no cultivo de cana brasileira até o ano 2021.

## **6. REFERÊNCIAS**

- Alves, B. J. R.; Boddey, R. M.; Urquiaga, S., 2009, "Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil", Circular Técnica, EMBRAPA, Seropedica, Rio de Janeiro, Brasil.
- BEN, 2008, Balanço Energético Nacional.
- Bioenergia, 2009, "Certificação, Contribuição ou barreira para os biocombustíveis?", Revista Brasileira de Bioenergia, Cento Nacional de Referência em Biomassa, São Paulo, Brasil, pp. 24-26.
- BNDES; CGEE, "Bioetanol de cana-de-açúcar- Energia para o desenvolvimento sustentável", CEPAL, Vol.1, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 72-76.
- Boddey, R. M.; Soares, L. H. B.; Alves, B. J. R. ; Urquiaga, S., 2008, "Biofuels, Solar and Wind as renewable energy systems". Bio-Ethanol Production in Brazil. IN Pimentel, D; (Ed.), New York USA, Springer, pp. 321-356.
- Carvalho, V. C. H. A.; 2010, "Balanço Energético e emissões de GEE no processo de distribuição do Etanol, Usina-Posto de Abastecimento", PUC/RJ, Rio de Janeiro, Brazil.
- EPE, 2008, "Perspectivas para o etano no Brasil", Empresa de pesquisa energética, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brasil, PP. 25-35.
- Furuholt, E., 1995, "Life cycle assessment of gasoline and diesel", Department Mngr. Environment, Statoil Research Centre, Trondheim, Norway, pp. 256-258.
- IBGE, 2010, "[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201001\\_4.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201001_4.shtml) ", Grupo de coordenação de estatísticas agropecuárias, Fevereiro 2010.
- IPCC, 2006, "<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>", International Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual.
- Macedo I. C.; Joao, J. E.; Silva, E.A.R., 2007, "Greenhouse gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020", Campinas, São Paulo, Brasil.
- Macedo, I. C., 1998, "Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil", Biomass and Bioenergy, Oxford, UK, v.14, p. 77-81, Campinas, São Paulo, Brasil.

## **7. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.

## LIFE CYCLE ASSESSMENT AND ENERGY BALANCES OF BRAZIL'S SUGARCANE ETHANOL

Díaz, Marco Antonio Díaz, marcodd1@gmail.com

Carvalho, Victor Cabral da Hora Aragão, victorcarvalhorj@gmail.com

Gomes, Marcos Sebastião de Paula, mspgomes@puc-rio.br

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Marquês de São Vicente Street-225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Marquês de São Vicente Street-225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Marquês de São Vicente Street-225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - 22451-900

**Abstract.** *In December 2008, European Parliament approved an agreement for 20% reduction in GHG emissions by 2020 with the biofuels accounting for 10% of fuels used in transport. Then if Brazil wants to become a ethanol supplier for this region, is not enough to produce an efficient fuel in reducing GHG emissions, to be approved for consumption abroad, it must go through a certification process. In this paper it is developed a Life Cycle Assessment (LCA) approach for evaluating the energy consumption and the atmospheric emissions of fuel ethanol from Brazilian sugarcane, taking into account all the inputs/outputs into/from the production cycle. It is shown that biofuels such as the Brazilian sugarcane ethanol may be produced properly and sustainably, respecting environmental constraints, preserving water resources and using appropriate technologies to mitigate emissions.*

*The system analyzed includes the sugarcane sowing, the plantation handling, the harvesting, and the industrial activities, distribution, and the ethanol use. But, there are environmental impacts during the fuel ethanol lifecycle, which this paper intends to analyze, including addressing the main activities responsible for such impacts and indicating some suggestions to minimize the impacts also includes the fossil energy consumption, renewable energy production, energy balance of the ethanol produced from sugar-cane and the principal emissions of greenhouse gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>).*

**Keywords:** *Life cycle assessment (LCA); Energy Balance; Environmental Certification; Sugarcane Ethanol.*