

Arlan Geraldo Leite

QUANTIFICAÇÃO DO USO DO ETANOL COMBUSTÍVEL PELA
CENTRAL DE INJEÇÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTORES
VISANDO A GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação do Curso de
Mestrado Profissionalizante em
Engenharia Ambiental da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Ambiental.

Florianópolis
2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL
CENTRO TECNOLÓGICO



“Quantificação do Uso de Etanol Combustível pela Central de Injeção em Veículos Automotores Visado a Geração de Créditos de Carbono”

ARLAN LEITE

Dissertação submetida ao corpo docente do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Gestão Ambiental na Indústria.

Aprovado por:

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
(Orientador)

Prof. Fernando Soares Pinto Sant’Anna, Dr.

Prof. Edivan Cherubini, Dr.

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
(Coordenador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
MAIO/2016

*Dedico este trabalho à razão.
Através de um esforço contínuo
buscamos com a razão respostas a
novos rumos e inovações, que fazem
com que a vida seja muito mais do que
um simples respiro, se torne ainda
mais emocionante e fascinante à luz
do conhecimento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a *Deus* e ao meu anjo da guarda. São eles os responsáveis pela oportunidade que neste trabalho pude expor.

À minha família: Minha esposa *Grazielle* que me apoiou e se esforçou para suprir a minha falta dentro de casa. Às minhas filhas *Alícia* e *Isabelle* que são minha fonte de inspiração, razão de tanto esforço, exemplos de ingenuidade, humanidade, carinho e amor.

Aos meus pais: *Adair Furtado Leite* que, onde estiver, sei que esteve sempre torcendo para meu sucesso; minha mãe, *Maria das Graças Leite*, que, com certeza, também é responsável por esta conquista.

Aos amigos que conquistei no curso de mestrado (Debora, Keila, Renato, Geraldo, Portilho, Gori, Sandra etc. Ana, nossa secretária), que compartilharam comigo tantos momentos ao longo destes dois anos, de muitos sonhos, dedicação, alegrias e aprendizado. Além, é claro, de muita distração com nossos churrascos, tropeiros, pães com linguiça e bom papo.

Aos meus amigos '*de todos os tempos*'. A vida fica muito mais feliz por vocês existirem.

Ao meu orientador, professor *Rodrigo Mohedano*, pelos valiosos ensinamentos, dedicação e companheirismo para com esta conquista. Obrigado, Rodrigo, pela dedicação e comprometimentos para que tudo fosse possível.

Aos meus professores da Pós-Graduação, que me conduziram ao conhecimento e fizeram com que a Engenharia Ambiental me abrisse a porta do conhecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, pela oportunidade de realização deste Mestrado.

Enfim, a todos aqueles que cruzaram o meu caminho, levando um pouco de mim, e deixando um pouco de si comigo, o meu MUITO OBRIGADO!

“Você escolhe, recolhe, elege, atrai, busca, expulsa, modifica tudo aquilo que te rodeia a existência.

Teus pensamentos e vontades são a chave de teus atos e atitudes. São as fontes de atração e repulsão na jornada da tua vivência.

Não reclame, nem se faça de vítima.

Antes de tudo, analisa e observa.

A mudança está em tuas mãos.

Reprograme tua meta, busque o bem e você viverá melhor.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

(Chico Xavier)

RESUMO

Nos dias atuais, é totalmente relevante o questionamento quanto às mudanças climáticas da Terra com a crescente emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE). Nesse cenário, foi criada em 1992 a Convenção do Clima e, posteriormente, o Protocolo de Quioto, que estabeleceu medidas preventivas, mitigadoras e compensatórias para consequente redução destes gases. A queima de combustíveis fósseis em veículos automotores tem uma grande participação nessas emissões, com cerca de 213,38 milhões de toneladas de CO₂/ano. Deste modo o presente estudo visa avaliar a possibilidade da geração de créditos de carbono a partir da utilização de etanol combustível por veículos automotores em substituição ao uso da gasolina, sendo ainda necessário o entendimento sistemático de toda a dinâmica do ciclo de produção ou “ciclo de vida do etanol”, que embasa a consequente redução dos gases do efeito estufa, em especial o CO₂. Para isto, o estudo proposto foi desenvolvido através de quatro etapas metodológicas: (1) Análise bibliográfica quanto às emissões veiculares e seus reflexos na geração dos GEE, confrontadas com as diretrizes do Protocolo de Quioto; (2) A análise sistêmica do balanço de emissões dos GEE durante diferentes etapas do ciclo de produção do etanol combustível; (3) Demonstração da possibilidade de obtenção de créditos de carbono pelo uso de etanol veicular como um Mecanismo de Desenvolvimento mais Limpo (MDL); (4) Análise de um sistema para o monitoramento e armazenamento de dados relativos ao teor da mistura de combustíveis utilizados na queima dos motores, capaz de informar a quantidade de etanol utilizada em determinado espaço de tempo. No caso em tela, utilizamos parâmetros já existentes, advindos da própria central de injeção do veículo, que monitora e identifica a todo instante a queima dos combustíveis que estão sendo utilizados. O armazenamento de dados sobre o volume de etanol utilizado servirá como pressuposto para a possibilidade da geração de créditos de carbono, em virtude da diminuição da emissão de gases do efeito estufa. Face às metodologias utilizadas e os resultados obtidos, é possível concluir que, devido à ciclagem do carbono, a utilização do etanol é capaz de atingir emissões muito próximas de zero, se analisadas dentro de todo o ciclo de vida do referido combustível. A mitigação dos GEE quando da utilização do etanol combustível está bem consolidada dentre os diversos autores citados, gerando grande benefício se comparado à gasolina. No estudo comparativo realizado, o etanol é cerca de 3,55 vezes menos poluente e gera 71,86% redução nas emissões GEE que a gasolina brasileira. Com base nesses dados,

conclui-se também a possibilidade do requerimento de créditos de carbono através da utilização do etanol em substituição à gasolina. Para o monitoramento e quantificação do uso do etanol combustível, foi considerada a Central de Injeção como um mecanismo que já realiza o referido processo, bastando gravar os dados para posterior comprovação, sendo essa a forma de validação do Mecanismo e Desenvolvimento mais Limpo (MDL) necessária à requisição dos créditos de carbono pelo uso do etanol.

Palavras-chave: Gases Efeito Estufa (GEE). Ciclo de vida etanol. ECU. Crédito de Carbono. Protocolo de Quioto,

ABSTRACT

Currently it is fully relevant the inquiry about climate change on Earth, with the increasing of Greenhouse Gas Emissions (GHGs). In this concerning scenario of possible climate change, the UN Climate Change Convention was created in 1992, and later the Kyoto Protocol, which established mitigating and compensatory measures for the consequent reduction of these gases. In this context, the use of fossil fuels in motor vehicles has a large share on total GHG emissions, around 213.38 million tons of CO₂/ year. Thus, this study aims to assess the possibility of generating carbon credits from the use of “alcohol” fuel vehicles, still requiring the systematic understanding of the whole production cycle dynamics, and this fuel “life cycle” disposal, burning and regeneration that could support a consequent greenhouse gases reduction, especially regarding to CO₂emission. Our methodology is based on four stages: (1) Through a bibliographic review about vehicle emissions and their effects on the greenhouse gases generation, comparing with the guidelines of the Kyoto Protocol; (2) A systematic analysis of the GHG emissions balance during different stages of the ethanol fuel production cycle. (3) A demonstration of the possibility of obtaining carbon credits through the use of ethanol vehicle as a Cleaner Development Mechanism (CDM). (4) The development of a monitoring and storing data system related to fuel mix content in the engine burning. This system must be able to inform the amount of ethanol used at a given time. The data storage on the quantity of ethanol used will presuppose the possibility of generating carbon credits due to the reduction of greenhouse gases. Under the methods used and the obtained results, it can be concluded that, due to the carbon cycling, the ethanol use is able to reach emissions very close to zero when considered the whole life cycle of the referred fuel. The GHG reduction when using the ethanol fuel is well consolidated among several studied authors, generating great benefit when compared to gasoline. Comparing the renewable with the fossil fuel, we could see that ethanol is about 3.6 times less polluting and it generates 72% less GHG emissions than the Brazilian gasoline. Based on this data, it can be also concluded that there is a possibility of carbon credit application when using ethanol to replace gasoline, requiring the CDM validation that will validate and quantify that reduction of GHGs.

Keywords: Greenhouse Gases (GHG). Ethanol’s Life Cycle. ECU. Carbon Credit. Kyoto Protocol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -Representação esquemática de funcionamento do efeito estufa	26
Figura 02 -Aumento da temperatura média global “Variação °C no decorrer das décadas”	27
Figura 03 - Aplicação de herbicida com tratores	34
Figura 04 - Queima da palhada da cana-de-açúcar	35
Figura 05 - Lavagem da cana-de-açúcar	36
Figura 06 – Fluxograma produção Etanol / Açúcar	39
Figura 07 – Estimativa de redução de emissões por países para o primeiro período de obtenção de créditos das atividades de projeto registradas até 30 de setembro de 2014.	47
Figura 08 – Status dos projetos brasileiros no Conselho Executivo do MDL até 30 de setembro de 2014.....	48
Figura 09 – Exemplo da medição registrada no segundo dia de testes utilizando etanol.....	53
Figura 10 – Esquema de aprendizado de combustível	56
Figura 11 – Dados da Central de Injeção evidenciados sobre veículo em funcionamento. Aquisição via SW do Central x Notebook	57
Figura 12 – Esquema ilustrativo das possibilidades praticas na requisição de créditos de carbono	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Potencial de aquecimento global de diferentes gases.	28
Tabela 02 - Balanço das Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil	43
Tabela 03 – Tabela de Consumo e eficiência energética sob veículos Automotores Leves	44
Tabela 04 – Distribuição do total de atividades de projeto registradas por país no Comitê executivo dos Mecanismos de Desenvolvimento Mais Limpo ate 30 de novembro de 2014.....	46
Tabela 05 – Ciclo de desenvolvimento de um Projeto MDL e responsabilidades	49
Tabela 06 – Gases emitidos por veículos automotores	58
Tabela 07 – Comparativo de emissões com diferentes combustíveis	59
Tabela 08 –Resumo comparativo de autonomia de combustíveis “Etanol x Gasolina”	61
Tabela 09 - Emissões e fixação de CO2 calculados pela análise de ciclo de vida do etanol.....	64
Tabela 10 – Tabela resumo emissões evitadas CO2.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV – Análise Ciclo de Vida
BM&F – Bolsa de Mercadorias e Futuros
CCE – *Chicago Climate Exchange*
CER – Reduções de Emissão Certificadas
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CIMGC – Comissão Interministerial de Mudanças Globais de Clima
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
ECM – *European Climate Exchange*
ECU – *Engine Control Unit*
ERU – Unidade de Redução de Emissão
GEE – Gases do Efeito Estufa
HD – *Hard Disk*
IAC – Instituto Agronômico de Campinas
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e
Tecnologia
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ONU – Organização das Nações Unidas
PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos
RVEP – Relatório de Valores de Emissão de Produção

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	21
1.1– OBJETIVOS.....	25
1.1.1 – Objetivos Gerais:.....	25
1.1.2 – Objetivos Específicos:.....	25
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 – MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS GEE.....	27
2.2 – PROTOCOLO DE QUIOTO E CRÉDITOS DE CARBONO.....	30
2.2.1 – Mecanismo de Implementação Conjunta.....	31
2.2.2 – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).....	32
2.2.3 – Comércio de Emissões.....	32
2.2.4 – Outras Considerações do Comércio de Carbono.....	33
2.3 – CICLO DE VIDA DO ETANOL.....	33
2.3.1 – Outros Impactos do Etanol.....	40
2.4 – REDUÇÃO DOS GEE PELO USO DO ETANOL COMBUSTÍVEL.....	42
2.5 – GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.....	48
2.5.1 – Mecanismos de Desenvolvimento mais Limpo (MDL).....	48
2.5.2 – Etapas para Requisição de Créditos de Carbono.....	52
3 – METODOLOGIA.....	55
3.1 – COMPARATIVO DAS EMISSÕES DIRETAS GASOLINA x ETANOL.....	55
3.2 – REDUÇÃO GEE.....	56
3.2.1 – Autonomia e Consumo de Combustível.....	56
3.2.2 – Mitigação dos GEE Considerando o Ciclo Vida.....	58
3.3 – RECONHECIMENTO DA MISTURA COMBUSTÍVEL.....	59
4 – RESULTADOS.....	63
4.1 – EMISSÕES DIRETAS “GASOLINA x ETANOL”.....	63
4.2 – MITIGAÇÃO GEE NA UTILIZAÇÃO DO ETANOL.....	65
4.2.1 – Autonomia Etanol x Gasolina.....	65
4.2.2 – Redução dos GEE pelo Uso do Etanol.....	67
4.3 – RESULTADO DA AQUISIÇÃO DE DADOS DA MISTURA DE COMBUSTÍVEL.....	70
4.4 – MDL PARA QUANTIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DOS GEE.	71
5 – CONCLUSÃO.....	75
6 – REFERÊNCIAS	79
7 - ANEXOS	87
7.1 - ANEXO 01: PROTOCOLO DE QUIOTO	87

7.2 - ANEXO 02: REPORTAGEM - ETANOL GERA CRÉDITO DE CARBONO	89
7.3 - ANEXO 03:REGULAMENTAÇÕES NA PRODUÇÃO DO ETANOL E CONSEQUENTE REDUÇÃO DOS GEE.....	91

1 – INTRODUÇÃO

Partindo das reflexões de alguns autores como Teixeira (2004), citado por Pasqualetto (2006), é sabido que a atmosfera contém uma mistura de gases, predominantemente o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2), além de vários outros gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e as famílias dos perfluorcarbonos, perfluorometano (CF_4), perfluoretano e hidrofluorcarbonos (UNFCCC, 2001).

Alguns desses gases, quando em quantidades elevadas e desproporcionais, podem acarretar mudanças climáticas, como o aquecimento global. Há uma preocupação a nível mundial com o aquecimento global, devido a emissões elevadas dos gases causadores do efeito estufa. Os quais, por sua vez estão relacionados com o aumento de CO_2 equivalente na atmosfera, fazendo-se necessário o conhecimento detalhado de todo o ciclo do carbono, vislumbrando suas fontes, regeneração, otimização e redução.

Foi criada em 1992 a Convenção do Clima, tendo como objetivo essencial o controle das concentrações dos Gases do Efeito Estufa (GEE). Na perspectiva de atingir tal objetivo, foram estabelecidas metas de controle de emissão desses gases, em especial o CO_2 , em que os países desenvolvidos deveriam estabelecer medidas para diminuir as emissões em até 5% em relação aos níveis de 1990, entre 2008 e 2012 (MCT, 2005).

Neste cenário surge o Protocolo de Quioto como a principal tentativa da maioria dos países em estabelecer uma regulamentação de normas ambientais internacionais, evitando que a poluição atmosférica dos principais GEE persistisse nos níveis e proporções em que se mostravam.

Destaca-se que as emissões anuais de gases do efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global. Isso porque o aumento da temperatura global advém de vários anos em que países na época em desenvolvimento elevaram e aumentaram as concentrações dos diversos gases do efeito estufa na atmosfera, como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (FCCC/AGBM, 1997).

Segundo o próprio Protocolo de Quioto, países como o Brasil, dito “em desenvolvimento”, podem se beneficiar das metas de emissões e reduções dos ditos países “desenvolvidos”. Isto porque o Brasil é considerado um país que não contribuiu significativamente para o aumento global do efeito estufa, e possui tecnologias mais limpas que

podem colaborar com a redução dos gases causadores do efeito estufa, em contrapartida aos países “desenvolvidos”, que precisam reduzir ou mesmo compensar suas emissões no cenário global.

A necessidade de compensação das emissões culminou no desenvolvimento de um mercado econômico de venda de créditos de carbono, em que, através de ações como “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)”, é possível quantificar ganhos na redução de emissões de gases causadores do efeito estufa.

Como pautado nos parágrafos antecedentes, os gases geradores do efeito estufa, em especial o CO_2 , são escopo de grande preocupação mundial, sendo relevante toda e qualquer medida mitigadora que possa contribuir para sua redução, uma vez que referida medida pode gerar frutos de cunho econômico que viabilizem investimentos e tecnologias para sua consecução. Neste cenário, as emissões de veículos movidos a motores de combustão ganha amplitude, principalmente quando confrontados os tipos de combustíveis (fósseis *versus* renováveis), como o etanol).

As emissões, principalmente de CO_2 , na combustão de veículos automotores são similares, quer se utilize etanol, gasolina ou sua mistura. Porém, a redução das emissões de GEE evidenciada pela utilização de biocombustíveis, como o etanol, está no seu ciclo de produção, e não na combustão. A cana-de-açúcar, matéria-prima renovável deste combustível, é capaz de fixar o carbono atmosférico equilibrando o ciclo biogeoquímico deste elemento, estando consolidadas as emissões próximas de zero por instituições brasileiras como Inmetro, IBAMA e CETESB (MMA, 2011).

A mitigação da redução dos GEE pelo uso do etanol como combustível de veículos motopropulsores deve ser primeiramente analisada dentro de todo o ciclo produtivo deste combustível, considerando-se desde sua produção até sua queima. Atualmente, tanto o Inmetro como o IBAMA, bem como a própria CETESB, consideram as emissões de GEE como próximas de zero na queima do etanol, havendo controvérsias sobre o valor ser realmente zero ou muito próximo disso.

A análise de ciclo de vida do etanol e da mitigação dos GEE foi embasada pelo estudo de diversos autores, podendo ser estabelecida uma correlação na redução dos GEE advindos da utilização do etanol em substituição à gasolina e, ainda, a viabilização da geração de créditos de carbono, tendo como requisito um Mecanismo de Desenvolvimento mais Limpo (MDL) para comprovação de respectiva redução.

Estando ou não o valor próximo de zero, fato é que parece consolidada a viabilidade da mitigação dos GEE na utilização do etanol como combustível em veículos automotores, quando comparado com combustíveis fósseis, restando-nos o estudo da viabilidade da geração de créditos de carbono, se comprovada a utilização do etanol ou de sua mistura na queima em veículos automotores. Já temos um caso prático como o elencado ao final do trabalho (Anexo 02 – Reportagem quanto à geração de créditos pelo uso do etano), em que a empresa Ecofrotas monitorou e vinculou o abastecimento com etanol de sua frota de veículos através do cartão de crédito, tendo pleiteado e adquirido créditos de carbono.

Diferentemente da empresa Ecofrotas, para a comprovação da utilização da mistura combustível queimada no motor, o presente estudo embasou-se no monitoramento através da própria central de injeção do veículo, que a todo momento administra e reconhece o combustível que está sendo utilizado. Assim, buscou-se demonstrar que o etanol, além de ser uma fonte renovável que agride menos o ambiente e reduz os GEE, também pode possibilitar ganhos econômicos com a geração de créditos de carbono, estimulando a substituição da matriz energética.

1.1 – OBJETIVOS

1.1.1 – Objetivos Gerais:

Avaliar a possibilidade da geração de créditos de carbono pela utilização do etanol combustível em substituição a gasolina em veículos automotores através do monitoramento da central de injeção.

1.1.2 – Objetivos Específicos:

- Apresentar, de forma sistemática, os principais dados sobre os fluxos de emissões de GEE durante o ciclo de produção e uso do etanol como combustível veicular.

- Comparar a redução das emissões de GEE pelo uso de etanol combustível em substituição ao uso da gasolina.

- Verificar a possibilidade de monitoramento e quantificação do etanol combustível através da Central de Injeção de um veículo.

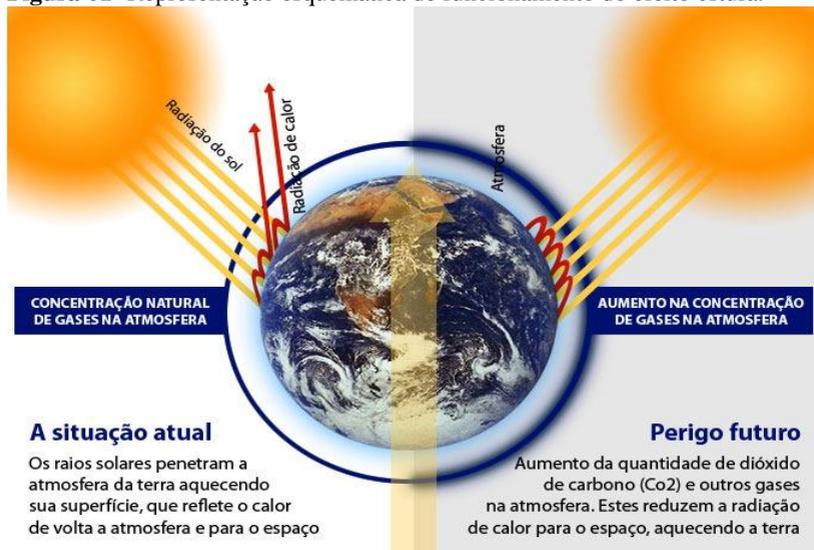
- Propor a utilização da Central de Injeção como um Mecanismo de Desenvolvimento mais Limpo (MDL) para quantificar o uso de etanol combustível e, conseqüentemente, a obtenção de créditos de carbono.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS GEE.

De acordo com Rocha (2003), uma estufa é um recinto com paredes ou teto que permitem a entrada de energia na forma de radiação no espectro visível e impedem, parcialmente, a saída da energia na forma de radiação no espectro infravermelho. Vide Figura 01:

Figura 01 -Representação esquemática de funcionamento do efeito estufa.



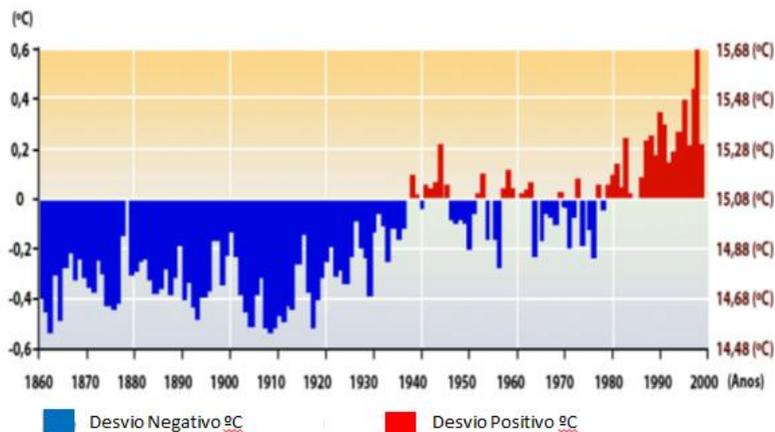
Fonte: Adaptado de Rezende et al. (2001).

Segundo Rocha (2008), o planeta possui uma espécie de equilíbrio radioativo. Há absorção da energia da radiação do sol, fazendo com que esquente, e se resfria pela emissão de energia infravermelha, podendo ser considerada uma espécie de estufa natural, já que em ambas as situações há gases na atmosfera que controlam e modificam esse comportamento.

Por outro lado, existe uma preocupação com a alteração do clima no que diz respeito ao aumento da concentração de diversos gases na atmosfera, os quais, impedindo a passagem da radiação infravermelha, podem provocar um aquecimento global, já que a estufa do planeta torna-se mais pronunciada (CGEE, 2008).

As alterações nas quantidades dos gases atmosféricos estão acontecendo há muito tempo, e são resultado de muitos anos de emissão pela natureza e, também, pela ação antrópica. Tais alterações provocam mudanças na temperatura média global. Na Figura 02 podemos observar o aumento da temperatura ao longo dos anos (IPCC, 2007a).

Figura 02 -Aumento da temperatura média global “Variação °C no decorrer das décadas”.



Fonte: Adaptado de *University of East Anglia* (1999).

De acordo com Dickinson (2007), dos diversos gases que se encontram na atmosfera, em quantidades também muito diferentes, alguns têm características agravantes no tocante ao impedimento da passagem de radiação infravermelha e consequente aquecimento do globo. Desta forma, são considerados mais importantes que outros.

Através dos resultados de pesquisa do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC), na Figura 03 é possível observar a grandeza das estimativas, e respectivas incertezas, do aquecimento devido a cada gás ou fator, expressos em termos da força radiativa, em *watt* por metro quadrado (IPCC, 2007).

Tabela 01 -Potencial de aquecimento global de diferentes gases.**Potencial de Aquecimento Global**

Compostos	Fórmula química	GWP	Compostos	Fórmula química	GWP
CO ₂	CO ₂	1	HFC-23	CHF ₃	11.700
Metano *	CH ₄	21	HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6.300
Óxido nitroso	N ₂ O	310	HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	3.800
Perfluoretano	C ₂ F ₆	9.200	HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1.300
Perfluorpentano	C ₅ F ₁₂	7.500	HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1.000
Perfluorhexano	C ₆ F ₁₄	7.400	HFC-32	CH ₂ F ₂	650
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	23.900	HFC-41	CH ₃ F	150

Fonte: Adaptado de IPCC, 2007.

Apesar de não ser o mais nocivo, o dióxido de carbono (CO₂) possui o efeito mais relevante dentre os gases, tendo maiores proporções em volume quantitativo, e por isso ele é referendado para estimar a equivalência com demais gases nas emissões GEE. A Tabela 01 apresenta os efeitos globais. No entanto, alguns GEE têm um efeito, por molécula, muito maior do que o próprio CO₂; assim, apesar de outros gases terem quantidades bem menores, eles também repercutem no aquecimento global, sendo o CO₂ o principal vilão, que gera maiores efeitos que outros gases (CGEE, 2008).

Conforme pautado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2008), é cotidianamente sabido que o dióxido de carbono é produzido de forma natural na respiração e decomposição das plantas e animais. A ação do homem, com as queimas das florestas e de combustíveis de um modo geral, é o principal fator que contribui para o aumento desenfreado de emissões de CO₂. De modo inverso, a principal absorção de CO₂ advém das florestas e oceanos.

Ainda conforme pautado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2008), o gás metano (CH₄), é também muito relevante por possuir um potencial de aquecimento cerca de 21 vezes maior que a molécula de CO₂. Está presente principalmente onde há decomposição de matéria orgânica em culturas e produção agropecuária, além da cultura do arroz e queima de biomassa.

Autores referendados como Vilela (2007), discorrem sobre o dilema do “Aquecimento Global”, que é pautado em virtude do aumento

exorbitante do acúmulo de CO₂, CH₄ e N₂O (entre outros) na atmosfera, devido à ação antropogênica, que eleva a temperatura média global, como já foi citado anteriormente.

Em face de todos os pressupostos acima relacionados, conceituamos com a definição de mudança do clima adotada no Artigo 2º da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima (CQNUMC): “Mudança do clima é a diferença entre o clima com e sem o aumento – produzido pelo homem – da concentração atmosférica dos GEE” (IPCC, 2007).

2.2 – PROTOCOLO DE QUIOTO E CRÉDITOS DE CARBONO

Como discutido por Napravnik Filho (2006), ao abordar o aquecimento global e seus reflexos dentro de um contexto mais abrangente, nos remetemos à Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, que, no Brasil, teve seu marco na convenção ECO Rio 1992, em que se discutiu embrionariamente as mudanças climáticas do planeta. Na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC, 2001) foram abordadas metas e ações para os países mais industrializados, a fim de minimizar as concentrações dos GEE e tentar reverter ou, no mínimo, estabilizar as referidas emissões.

As ações propostas durante as últimas Conferências das Partes deram ênfase à utilização de mecanismos de mercado, visando não somente à redução dos custos da mitigação do efeito estufa, mas também ao estabelecimento do desenvolvimento sustentável em países subdesenvolvidos (ROCHA, 2003).

A Conferência das Partes realizada em Quioto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que, durante sua realização, foi estabelecido um acordo que define as metas de redução das emissões de GEE para os países do Anexo I do protocolo, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado.

Esse acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto e estabeleceu que os países industrializados deveriam reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990 entre 2008 e 2012 (primeiro período de compromisso). Para que este Protocolo entrasse em vigor, era necessário que no mínimo 55 países, que representam pelo menos 55% das emissões de GEE, o ratificassem. Atualmente, mais de 140 países já o ratificaram. No Brasil, o Protocolo

foi ratificado no dia 19 de junho de 2002 e sancionado pelo presidente da República em 23 de julho do mesmo ano (NÁPRAVNÍK FILHO, 2006).

Todavia, mesmo que bem intencionado e tendo recebido adesão maciça de muitos países, o protocolo esbarrou em um ponto chave; a adesão dos Estados Unidos. A ausência dos Estados Unidos enfraqueceu e muito o Protocolo de Quioto, uma vez que somente esse país é responsável por um terço do total de emissões em nosso planeta. Do lado Norte Americano, a desculpa é que aderir significaria colocar em prejuízo tanto o desenvolvimento do país como a sua economia.

Apesar da grande evolução nos meios de comunicação, e do surgimento de novos movimentos rotulados e vinculados a processos mais sustentáveis, vemos que o Protocolo de Quioto se encontra ainda enfraquecido, por falta de adesão e compromisso de todas as nações a fim de atingir o seu propósito. Tanto que a Organização das Nações Unidas prorrogou a validade do Protocolo para 2020.

Ultrapassado a questão do comprometimento de alguns países que por interesses econômicos ou diversos não aderiram ao protocolo na época, fato é que os mecanismos do Protocolo de Quioto começaram a se fazer presentes nas atividades econômicas dos países que o ratificaram, fazendo com que nascesse um mercado financeiro global em torno das atividades que geram GEE.

Considerando o propósito estipulado e com o fim global de reduzir as emissões dos GEE, vemos que, apesar dos países em desenvolvimento não terem o compromisso de redução de suas emissões, o Protocolo de Quioto encontrou uma forma de mitigar o impacto econômico das reduções assumidas pelos países industrializados (ROCHA, 2003).

Foram criadas medidas que consistem em três mecanismos inovadores, que possibilitaram a redução de emissões a um menor custo para os países industrializados, aproveitando-se de condições mais favoráveis fora de seu território: “a implementação conjunta, o mecanismo de desenvolvimento limpo e o comércio de emissões” (BRAZ, 2003).

2.2.1 – Mecanismo de Implementação Conjunta.

Conhecido como *Joint Implementation*, o Mecanismo de Implementação Conjunta é um sistema através do qual os países desenvolvidos constantes do Anexo I podem financiar e implementar projetos de redução de emissões ou de sumidouros de carbono em

território de outro país também listado no Anexo I. As reduções e a remoção de carbono obtidas com a implementação dos projetos dão origem às unidades de redução de emissões (ERUs), cada ERU correspondendo a uma redução equivalente a uma tonelada métrica de emissões de CO₂ (BRAZ, 2003).

2.2.2 – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

É um sistema que dá a oportunidade aos governos ou investidores privados de países incluídos no Anexo I da convenção, de desenvolver projetos de redução de emissões em território de países não listados no referido Anexo I. Outra forma de dizer seria tal mecanismo segue o mesmo princípio do mecanismo de implementação conjunta; no entanto tem como hospedeiros países que não possuem qualquer obrigação de redução de emissões (ROCHA, 2003).

Segundo Braz, 2003, A redução de emissões e a retirada de carbono da atmosfera obtidas com a implementação de projetos desenvolvidos sob o MDL geram as unidades de redução certificadas (CERs), cada CER, assim como as ERUs, correspondendo a uma redução equivalente a uma tonelada métrica de emissões de CO₂. As CERs obtidas em tais projetos podem ser utilizadas por países listados no Anexo I, cujos governos ou empreendedores privados tenham implementado tais projetos para alcançar suas metas de redução de emissões, respeitando a promoção do desenvolvimento sustentável nos países que hospedam o projeto. No entanto, de forma diferente ao que acontece com o mecanismo de implementação conjunta, as CERs conferidas à parte investidora não serão subtraídas dos limites máximos de emissões do país hospedeiro, visto que este país hospedeiro não possui qualquer obrigação de redução de emissões.

2.2.3 – Comércio de Emissões.

Sob esse mecanismo, os países do Anexo I podem comprar montantes de unidades que foram conferidas a outros países, também do Anexo I, (NÁPRAVNÍK FILHO, 2006). É possível observar que países em desenvolvimento, não inclusos no Anexo I, não têm permissão para participar do comércio de emissões. Essa regra tem um fundamento bastante simples, considerando que somente os países que constam no Anexo I têm obrigações no que diz respeito à redução de emissões, somente eles poderão vender as reduções excedentes, atentando para o detalhe que um país sem limitações poderia aumentar as emissões

somente com o intuito de reduzir posteriormente e lucrar no processo de venda. Assim, os países só poderão participar do comércio de emissões caso forem atribuídas a eles metas de redução de emissões, algo similar às metas estabelecidas para os países desenvolvidos (NETO, 2002).

2.2.4 – Outras Considerações do Comércio de Carbono.

Segundo mencionado por Valente (2007), é importante ressaltar a existência de um mercado paralelo de créditos de carbono, isto porque os projetos que não se encaixam nos mecanismos do Protocolo de Quioto se incluem no mercado voluntário, que funciona simultaneamente ao mercado regulado. O sistema voluntário não é registrado na Organização das Nações Unidas (ONU), não está sujeito às regras do Protocolo de Quioto e envolve entidades independentes que se responsabilizam por validar e verificar as reduções propostas.

Esse tipo de crédito, embora não possa ser negociado em qualquer mercado, mobiliza organizadores de projetos de redução e sequestro de CO₂, revendedores de créditos, corretores e compradores. Os créditos são negociados em bolsas de valores, como ocorre na Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) de São Paulo, na Bolsa do Clima de Chicago (*Chicago Climate Exchange* - CCE), nos Estados Unidos, ou em sua subsidiária na Europa, a Bolsa do Clima Europeia (*European Climate Exchange* - ECX) (Valente,2007).

2.3 – CICLO DE VIDA DO ETANOL

Segundo Almeida (1943), o álcool é um produto da destilação de líquidos fermentados, como vinhos. O álcool etílico ou etanol é uma substância orgânica ternária, constituída por carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), cuja fórmula molecular é C₂H₆O.

Em resumo, poderíamos preliminarmente classificar as etapas do ciclo de vida do etanol combustível oriundo do cultivo da cana-de-açúcar em: Extração da matéria-prima, produção, reciclagem, armazenagem, distribuição e utilização. Para o álcool combustível advindo da cana-de-açúcar, a extração da matéria-prima corresponde às atividades agrícolas do cultivo da cana-de-açúcar; a produção, à fase de transformação industrial, desde a entrada da cana na usina até a produção do álcool combustível, incluindo a geração de energia elétrica e o vapor; a reciclagem, que é realizada por meio da fertirrigação da vinhaça; a armazenagem nos tanques de álcool; a distribuição, pelo

transporte do álcool até os postos revendedores e a utilização, pela combustão do etanol usado como combustível em veículos automotores.

A fase agrícola do processo canavieiro, admitindo que a área já tenha sido desmatada e que já esteja sendo utilizada para fins agrícolas, inicia-se, de acordo com o Instituto Agrônômico de Campinas (IAC, 1994), pelas operações de limpeza do terreno, de nivelamento de solo, de estudos de sua qualidade, de aração e de gradagem.

Após essas atividades, inicia-se o preparo do solo, que, segundo Castro(1985) e Ometto (2000), pode ser definido como uma série de operações que têm por finalidade fornecer as melhores condições físicas, químicas e biológicas ao solo para a germinação das sementes ou o brotamento dos tubérculos.

A conservação do solo faz parte de algumas técnicas do preparo, tais como: a incorporação da matéria orgânica, as curvas de nível, os terraços e a subsolagem, ou seja, a eliminação das camadas compactas para o aumento da infiltração de água no solo. De acordo com Ometto (2000), o preparo periódico do solo em cana-de-açúcar ocorre para o plantio da cana planta. Após o primeiro corte, ocorre o preparo para a cana soca, o qual se repete, geralmente, por cinco cortes, e finalmente, o ciclo se completa com a renovação do canavial, a qual ocorre pelo replantio.

De acordo com Ometto (2000), a operação de plantio pode ser manual ou mecanizada, feita pelo modo direto ou convencional. No método de plantio direto, o sulco é feito por meio de um sulcador que atua sobre a palha remanescente, enquanto, no convencional, o terreno é preparado por operações de aração e gradagem, seguidas do sulcador no solo sem palha. O sulco é um canal de aproximadamente 25 a 30 cm de profundidade, no qual a muda de cana-de-açúcar é colocada. Quando o solo é impermeável e muito compactado, utiliza-se a subsolagem para romper esse horizonte de impedimento e para facilitar o desenvolvimento e a penetração das raízes no solo.

Após o plantio, iniciam-se os tratos culturais, que, segundo Corbini (1987), são práticas agrícolas com as seguintes finalidades:

- preservar ou restaurar as propriedades físicas e químicas do solo;
- eliminar ou reduzir a concorrência das plantas invasoras;
- conservar o sistema de controle de erosão;
- controlar pragas ou doenças, eventualmente.

De acordo com Corbini (1987), as operações de controle das ervas concorrentes podem ser:

- preventivas: como levantamento das infestações para a identificação precoce de pequenos focos;
- culturais: pela cobertura total do solo e por práticas de rotação com adubos verdes;
- mecânico: podendo ser manual, com a utilização da enxada; animal, em que os cultivadores são tracionados por animais; e mecanizada, através de tratores;
- cultivo químico: herbicidas, como mostra a Figura 04.

Figura 04 - Aplicação de herbicida com tratores



.Fonte: OMETTO (2000).

Segundo o IAC (1994), os tratos culturais incluem a aplicação de agrotóxicos e, quando necessário, a adubação.

Após as aplicações de herbicidas, a próxima etapa do ciclo de vida do álcool, ainda nas operações agrícolas, é a fase da colheita, na qual se utiliza a prática da queima da palha da cana-de-açúcar, prévia ao corte, em 75% das áreas com cana no Estado de São Paulo, segundo Macedo et al. (2004).

Silva (1998) explica o processo da queima da palhada cana-de-açúcar, ilustrada na Figura 04, em três fases:

a) Ignição: o início do processo, na presença de oxigênio e baixas temperaturas. Esta fase é rápida e apresenta, ainda, baixa concentração de poluentes;

b) Combustão incompleta: atinge altas temperaturas e forma gases tóxicos, como CO₂, NO_x (óxido de nitrogênio) e SO_x (óxido de enxofre), entre outros.

c) Resfriamento: a última etapa da queima, caracterizada pela diminuição da temperatura e pela liberação de materiais particulados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e outras substâncias orgânicas provenientes dessa combustão incompleta.

Figura 04 - Queima da palhada da cana-de-açúcar.



Fonte - OMETTO (2000)

Para efeitos didáticos, é mister esclarecermos que não há ilegalidade na queima da palha da cana-de-açúcar, apesar de ter havido, no passado, diversas discussões judiciais sobre o tema. O Estado de São Paulo, por exemplo, já possui legislação própria com olhos para um futuro em que não haverá mais a referida prática no ciclo de produção do etanol (Vide Anexo 03). Isso demonstra uma evolução em termos de processo e eficiência de produção.

A etapa da fabricação do álcool inicia-se com a entrada da cana-de-açúcar na usina, descarregada por caminhões, em esteiras que as conduzem às etapas do processo industrial.

Segundo Ometto (2000), logo no início do processo industrial, a cana já é lavada com água, como mostra a Figura 05, para a retirada do material incorporado ao colmo durante o corte e o transporte do campo à

usina, surgindo o primeiro efluente: a água de lavagem de cana. Algumas usinas descartam esta operação, principalmente quando é utilizado o corte da cana crua, pois, como o colmo não exsuda, não retém tanta sujeira como o colmo que sofre exsudação com a queimada, o qual perde, ainda, sacarose.

Figura 05 - Lavagem da cana-de-açúcar.



. Fonte – OMETTO (2000)

A eliminação dessa operação contribui para a redução de custos ambientais e econômicos pela não utilização excessiva de água, já que, segundo Braille e Cavalcanti (1979), essa etapa do processamento industrial consome, em média, 3 a 7 m³ de água por tonelada de cana.

Logo após a lavagem, a matéria-prima do processo industrial, a cana-de-açúcar, é submetida a uma série de facas e desfibradores para aumentar a eficiência de extração do caldo nas moendas, as quais são movidas, principalmente, por turbinas a vapor, proveniente da queima do bagaço nas caldeiras ou por motores elétricos ou hidráulicos.

O caldo produzido durante a moagem é composto, segundo Braille e Cavalcanti (1979), por uma solução contendo sacarose, açúcares redutores e não açúcares. Esse caldo passa por um tratamento, por aquecimento e decantação, subdividindo-se, no processo de produção, em açúcar e em álcool, quando a usina gera os dois produtos.

O lodo resultante da decantação é submetido à filtração a vácuo. O líquido da filtração retorna ao processo e o resíduo sólido, conhecido

por torta de filtro, é destinado à fertilização nos campos de cultivo de cana-de-açúcar.

A continuação da descrição do processo industrial é focada na produção do álcool a partir do caldo obtido no processo de extração e enviado diretamente para a fabricação do álcool, pelo fato de o estudo não contemplar a produção de açúcar. Contudo, cabe diferenciar os dois tipos de destilarias de etanol:

a) destilarias anexas: que produzem álcool também a partir do produto da fermentação do melão, subproduto da produção de açúcar, o chamado mosto de melão;

b) destilarias autônomas: nas quais o álcool é obtido a partir da fermentação direta do caldo de cana.

O caldo, enriquecido com alguns nutrientes, é inoculado, de acordo com Braile e Cavalcanti (1979), com leveduras (fungo) do gênero *Saccharomyces*. Tais microrganismos irão reverter a sacarose ($C_6H_{12}O_6$) e transformá-la em álcool etílico ou etanol (C_2H_5OH) e dióxido de carbono (CO_2). O produto da fermentação é um substrato açucarado, denominado vinho, que é centrifugado para a obtenção e a reutilização das leveduras, enquanto o líquido é enviado às colunas de destilação.

Na primeira coluna, obtém-se álcool de 45°GL (fração em volume) a 50°GL, denominado flegma, e o efluente, que, segundo o IAC (1994), é responsável por mais de 60% da carga poluidora de uma destilaria: a *vinhaça*. Na coluna seguinte, de retificação, a concentração eleva-se à, no máximo, 97°GL, segundo Almeida [197-?], sendo encontrado pela Fic (2004) na fração em massa do álcool na mistura de 93,2% (mínimo 92,6% e máximo 93,8%). Este produto é o álcool etílico hidratado combustível, o qual é o produto do estudo de ACV deste trabalho.

A geração de vapor é realizada a partir da queima do bagaço nas caldeiras. A reutilização de subprodutos no ciclo de vida do álcool é caracterizada pela fertirrigação da vinhaça e torta de filtro nos campos de cultivo. A vinhaça ou vinhoto, como visto, é resultante da produção do álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho. Segundo Unido (1997) e CETESB (1985), é o maior poluidor dentre os efluentes, variando seu desprendimento, dependendo da concentração (teor) alcoólica obtida na fermentação, de 10 a 18 litros de vinhaça por litro de álcool produzido, com altas temperaturas na saída dos destiladores, as quais variam de 85°C a 90°C.

Quanto à composição, a vinhaça apresenta características específicas, bem estudadas por vários autores, as quais variam conforme

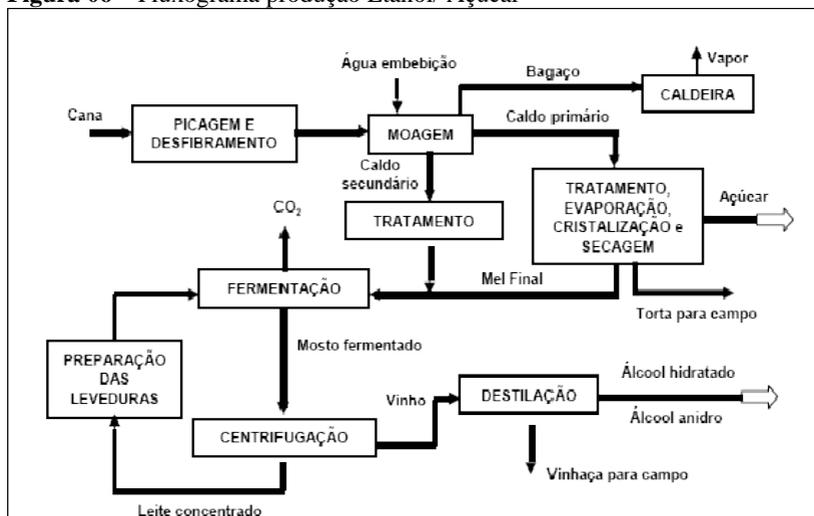
alguns fatores, segundo Cruz (1991), tais como: natureza e composição da matéria-prima, do mosto, do vinho, do tipo de aparelho destilatório e da condução da destilação. Contudo, a riqueza organomineral é alta em todos os tipos, tendo grande importância na aplicação em solos agrícolas.

Portanto, sua utilização nas lavouras de cana-de-açúcar, em substituição parcial ou total à adubação organomineral, tem sido largamente ampliada. Todavia, Szmrecsányi (1994) afirma que o seu uso não pode ser excessivo nem indiscriminado, sob pena de comprometer o meio ambiente com a salinização do solo e poluição dos aquíferos, e a própria rentabilidade agrícola e industrial.

Ainda dentro do fluxo de utilização do etanol, é válido ressaltar que, após sua produção, o mesmo é armazenado, na maioria das vezes, em tanques de concreto e a distribuição é realizada por meio de caminhões a diesel, até os postos de gasolina. Posteriormente o uso do etanol hidratado ocorre pela sua combustão em veículos automotores realizados por consumidores que abastecem seus carros.

O ciclo fecha-se por completo, levando-se em consideração a absorção, pela cana-de-açúcar, durante seu crescimento, do CO₂ emitido na combustão e demais fases do ciclo de vida do etanol. Abaixo, Figura 06 com resumo do ciclo.

Figura 06 – Fluxograma produção Etanol/ Açúcar



Fonte: Vieira, 2013

2.3.1 – Outros Impactos do Etanol.

Não obstante o mencionado acima quanto ao ciclo de vida do etanol, em que pouco repercute nas emissões dos GEE, principalmente devido ao fato da absorção de CO₂ pela cana-de-açúcar no seu crescimento, vemos que esse posicionamento não é unânime entre os diversos estudiosos do assunto. Isso porque existem autores como ASSIS / ZUCARELLI (2007), ALVARENGA (2013) e muitos outros que, embora reconheçam as fases e etapas de cada ciclo de produção do etanol, ainda acreditam que existam outros fatores como desmatamento para plantio da cana-de-açúcar, a utilização de agrotóxicos e defensivos agrícolas, contaminação de rios e lençóis freáticos, utilização de água como matéria prima para transformação, assoreamento e erosão de terras, dentre outros que contribuem para uma produção pouco sustentável com impactos socioambientais que vão além das emissões dos GEE.

Os impactos ambientais acontecem principalmente na fase de produção do etanol, especialmente na etapa agrícola, nos seguintes aspectos:

- Impactos na qualidade do ar e no clima decorrentes da queima da palha da cana;

- Impactos na utilização e qualidade da água;
- Impactos advindos da expansão do plantio com risco à biodiversidade;
- Impactos advindos da utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas e a consequente contaminação do solo e dos recursos hídricos;
- Impactos advindos do desgaste dos solos.

Impactos na qualidade do ar e no clima

Segundo ARBEX (2004), a queima da palha da cana-de-açúcar gera material particulado, constituído por cerca de 94% de partículas finas que podem atingir o sistema respiratório do ser humano, apresentando toxicidade. O fim progressivo da queimada da palha da cana-de-açúcar está previsto tanto na Legislação Federal como na Legislação Estadual de São Paulo – vide anexo 03 –, mas é necessário ressaltar que ainda há essa prática dentro do sistema de produção do etanol.

Impactos na utilização e qualidade da água

A demanda de água na etapa industrial é alta. Já na etapa agrícola, apesar de ser utilizada pouca quantidade de água, temos a utilização de agrotóxicos (herbicidas) que podem interferir nos recursos hídricos através da poluição de corpos d'água (DUFEY; PRESSER; ALMEIDA, 2007).

Há também a utilização do vinhoto na produção e plantio da cana, e sua infiltração na água subterrânea pode comprometer a potabilidade devido à presença de amônia, magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto e matéria orgânica. Se atingir os cursos de água pode também provocar mau cheiro, contribuir para endemias como malária, amebíase, entre outras, além de esgotar o oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultando o aproveitamento dos mananciais contaminados como fonte de abastecimento de água potável.

Já as águas residuais do processo industrial com a lavagem da cana-de-açúcar possuem potencial poluidor quando lançadas nos corpos d'água (PIACENTE, 2005).

Segundo pesquisa de INNOCENTINI (2006), amostras de água potável da região de Araraquara, apresentaram HPA tão somente na época da safra. ANDRADE (2004) também identificou em estudos antecedentes a existência desse composto em material particulado na mesma região.

Impactos advindos da expansão do plantio com risco à biodiversidade.

A União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA (2007a), aduz que a produção de cana-de-açúcar vem ocorrendo em áreas de pastagem degradada e que não recai sobre desmatamento ou mesmo sobre áreas de plantio de culturas alimentares. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adverte que a expansão do plantio da cana-de-açúcar para áreas de pastagem possui maior impacto que se fosse para áreas de reserva, isso porque, analisando isoladamente a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, esta deterioraria com maior severidade as áreas já degradadas (DUFÉY; PRESSER; ALMEIDA, 2007).

Impactos advindos da utilização de fertilizantes e defensivos.

O uso de fertilizantes no Brasil é relativamente baixo, mas pode apresentar riscos aos recursos naturais. Na cultura da cana, a proporção é inferior se comparada à culturas como algodão, café ou laranja. Porém, para o combate de pragas na cana-de-açúcar, são utilizadas altas quantidades de herbicidas, superiores às utilizadas em outras culturas como café ou milho (SANTO;ALMEIDA,2007).

A utilização de resíduos do próprio processo de fabricação do etanol, como a vinhaça, e o emprego da torta de filtro são alternativas muito interessantes para minimizar o uso de fertilizantes e defensivos, porém merecem igual cuidado e prevenção, sob o risco de haver contaminações.

Impactos advindos do desgaste dos solos

As terras agrícolas, de forma geral, sofrem com o uso desenfreado da ação do homem, que busca extrair ao máximo seu potencial sem contudo recuperar suas características. A erosão é uma das maiores causas da degradação, sendo intensificada pela ação das queimadas, provocando a diminuição da umidade e compactação do solo, além da perda de nutrientes naturais para a atmosfera (via combustão da queima da cana) ou para as águas (por posterior lavagem e lixiviação). A aplicação de defensivos agrícolas também gera desgastes sobre o solo, que fica comprometido e desbalanceado (SANTO; ALMEIDA, 2007).

2.4 – REDUÇÃO DOS (GEE) PELO USO DO ETANOL COMBUSTÍVEL

O etanol tem contribuído para a mitigação dos GEE no Brasil, uma vez que é um produto advindo de fonte renovável e, conforme já pautado em tópicos anteriores, apresenta ganhos significativos se comparado à gasolina, a qual advém de combustíveis fósseis. É considerado que a quantidade de dióxido de carbono emitida na combustão é compensada pela absorção deste gás através da fotossíntese no crescimento da espécie vegetal, desde o plantio até a colheita. Todavia, no plantio, na colheita, no transporte e no processamento da cana-de-açúcar são consumidos combustíveis fósseis que geram emissões de GEE. É preciso, portanto, fazer um balanço energético e de GEE para se avaliar quais os resultados líquidos no ciclo completo de produção do álcool de cana-de-açúcar e no seu uso como combustível no setor de transporte (MACEDO, 2004).

Vários autores e especialistas brasileiros já evidenciaram, em trabalhos publicados, a necessidade de estimar a quantidade de energia fóssil necessária para produzir etanol da cana-de-açúcar. Essa energia foi calculada considerando a quantidade em MJ necessária para produzir 1 litro de etanol “MJ L⁻¹, ou energia por tonelada, GJ Mg⁻¹” (MACEDO, 1998; SEABRA e SILVA, 2008; URQUIAGA, ALVES e BODDEY, 2005; BODDEY 2008). O consenso entre essas equipes é de que o balanço energético é a “razão entre energia total contida no biocombustível produzido e a energia fóssil investida na sua produção) é aproximadamente 8 ou 9, tanto nas condições em São Paulo quanto no âmbito nacional”(MACEDO, 1998; SEABRA e SILVA, 2008).

Surge, de modo a contemplar o gerenciamento ambiental, uma ferramenta mais abrangente e detalhista que analisa de forma complexa todos os aspectos envolvidos dentro de um processo produtivo. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) considera e identifica os pontos críticos de cada fase do processo produtivo, oferecendo dados objetivos que podem ser comparados para futura tomada de decisão. No presente trabalho, por exemplo, apesar de não aprofundarmos na ACV do etanol, e tomando por base dados de diversos autores, conseguimos identificar que o ganho com relação à mitigação dos GEE é mais significativo na regeneração do CO₂ na fotossíntese do crescimento da cana, e não nas emissões diretas propriamente ditas.

A avaliação da redução das emissões dos GEE, tomando como base o ciclo de vida do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, foi considerada por diversos autores a partir da produção exclusiva de etanol nas unidades produtoras, desconsiderando em um primeiro

momento a produção de açúcar. Também foi considerada a mitigação correspondente à redução do fluxo de emissões de GEE obtida com a produção e o uso do etanol em substituição à produção e uso da gasolina automotiva, porque a análise vinculou a utilização de uma fonte de energia em substituição e comparação a outra(ambos nas condições atuais do Brasil) (MACEDO,2004).

Em estudo elaborado por MACEDO (2004) em “Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil”, encomendado pela Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo, dividiram-se os fluxos de emissões de GEE em quatro grupos:

Grupo 1: Fluxos associados à fixação de carbono atmosférico por fotossíntese e à sua liberação gradual por oxidação:

1.a Fixação (fotossíntese) de carbono atmosférico;

1.b Liberação de carbono na queima do canavial antes da colheita (aproximadamente 80% das pontas e folhas são queimadas com eficiência de 90%);

1.c Oxidação dos resíduos não totalmente queimados no campo;

1.d Liberação de CO₂ na fermentação da sacarose para produção de etanol;

1.e Liberação de CO₂ na queima de todo o bagaço, para geração de energia, nas caldeiras da unidade produtora ou em outras;

1.f Liberação de CO₂ na queima do etanol em motores automotivos.

Esse conjunto de fluxos é considerado praticamente “neutro”, pois se admite que todo o carbono fixado é liberado novamente dentro do ciclo de produção de cana-de-açúcar e na utilização final do etanol e do bagaço. A exceção é a fixação de parte do carbono no solo considerando uma fração muito pequena do total reciclado, sendo assumido que não há fixação no solo. Portanto, a contribuição líquida dos fluxos do Grupo 1 é admitida como igual a zero (hipótese normalmente feita em produção e uso cíclicos de biomassa).

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:

2.a Liberação de CO₂ pelo uso de combustíveis fósseis na lavoura: tratos culturais, irrigação, colheita, transporte da cana-de-açúcar etc.;

2.b Liberação de CO₂ correspondente ao combustível fóssil usado na produção dos insumos da lavoura (mudas, herbicidas, pesticidas, fertilizantes etc.);

2.c Liberação de CO₂ correspondente ao combustível fóssil usado na fabricação dos equipamentos agrícolas e das peças de reposição e manutenção;

2.d Liberação de CO₂ correspondente ao uso de combustíveis na fabricação de insumos para a indústria (cal, H₂SO₄, biocidas etc.);

2.e Liberação de CO₂ correspondente ao combustível usado na produção e manutenção de equipamentos e na construção de prédios e instalações industriais.

Esses fluxos são negativos, pois contribuem para o aumento das emissões.

Grupo 3: Os fluxos não associados ao uso de combustíveis fósseis são principalmente o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄), embora outros GEE de muito menor importância possam ocorrer. Podem ser assim caracterizados:

3.a Liberação de outros GEE (não CO₂) no processo de queima do canavial;

3.b Liberação de N₂O do solo (decorrente da adubação nitrogenada);

3.c Emissões de outros GEE (não CO₂) na queimado bagaço em caldeiras;

3.d Emissões de outros GEE (não CO₂) na combustão do etanol, nos motores.

Esses fluxos também são negativos (contribuem para o aumento das emissões).

Grupo 4: Esse grupo inclui os chamados fluxos “virtuais”, que correspondem às emissões de GEE que ocorreriam se, na ausência do etanol, a demanda fosse suprida por gasolina automotiva e, na ausência do bagaço excedente, fosse utilizado óleo combustível em outras indústrias. Essas emissões podem ser assim caracterizadas:

4.a Emissões evitadas de GEE pelo “não uso” de gasolina, substituída pelo etanol;

4.b Emissões evitadas de GEE pelo “não uso” de óleo combustível em outras indústrias, substituído pelo excedente de bagaço.

É preciso esclarecer que segundo Macedo (2004), “os fluxos dos grupos 2 e 3 são cerca de dez vezes menores do que os do Grupo 4”. Em geral, isso é verdade para sistemas de combustíveis fósseis ou biomassa, em que as energias “embutidas” nos equipamentos e nos sistemas são muito pequenas quando comparadas com os fluxos de energia “convertidos” na vida útil dos sistemas, o mesmo ocorrendo com as energias usadas para os insumos.

Segundo MACEDO(2004), para a avaliação dos fluxos de energia são considerados dois casos: um deles (Cenário 1) é baseado nas médias de consumo de energia, nos insumos e nos investimentos, e o outro (Cenário 2) é baseado nos melhores valores praticados (valores mínimos de consumo, com o uso da melhor tecnologia existente e praticada na região). A utilização desses cenários permite caracterizar não somente a situação atual (Cenário 1), mas também a situação que, embora já seja realidade em algumas unidades produtivas, poderá vir a ser prática comum em médio prazo (Cenário 2).

Abaixo, Tabela 02, com as emissões evitadas no ciclo de vida do etanol, considerando os dois cenários estudados por MACEDO (2004).

Tabela 02 - Balanço das Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil

Emissões no ciclo de vida do etanol	(kg CO ₂ eq./TC)	
	Cenário 1 (média)	Cenário 2 (melhores valores)
Emissões		
Combustíveis fósseis	19,2	17,7
Metano e N ₂ O, queima da palha	9,0	9,0
N ₂ O do solo	6,3	6,3
Total de emissões	34,5	33,0
Emissões evitadas		
Uso do bagaço excedente	12,5	23,3
Uso do etanol	242,5 (A); 169,4 (H)	259,0 (A); 180,8 (H)
Total de emissões evitadas	255,0 (A); 181,9 (H)	282,3 (A); 204,2 (H)
Emissões evitadas (valor líquido)	220,5 (A); 147,4 (H)	249,3 (A); 171,1 (H)

(A): etanol anidro

(H): etanol hidratado

Kg CO₂eq./TC: Quilos de CO₂ equivalente por Tonelada de Cana

Fonte: MACEDO, I.C; (2004).

Ante os fluxos acima relacionados e analisando o ciclo de vida do etanol, podemos concluir que há sim uma mitigação nas emissões dos GEE na sua utilização se comparado à gasolina. E que, indiretamente, devido ao crescente uso e aumento do etanol misturado à gasolina no Brasil, poderíamos dizer que houve também mitigação dos GEE pelo simples fato da proporção de etanol misturado à gasolina ter passado de 25% para 27% em 2015.

Ainda sob os precedentes de Macedo (2004), vemos que a utilização do etanol como combustível automotivo no Brasil, seja em mistura de 27% com a gasolina atualmente comercializada no Brasil, quer seja pela utilização do etanol puro ou, ainda, a mistura destes dois combustíveis presente na grande maioria dos veículos brasileiros que possuem com tecnologia *flexfuel*,. Fato é que o uso de um combustível de fonte renovável, como o etanol, confere ao País liderança no cenário internacional quanto ao sequestro de carbono e à mitigação do efeito estufa.

Ainda sob o enfoque de evidenciar que a utilização do etanol combustível dentro da frota brasileira de veículos é considerada relevante para redução dos GEE, valemos em referenciar a tabela abaixo do INMETRO (2014), em que se pautam, na penúltima coluna da tabela de eficiência energética, as emissões de GEE quando da utilização do etanol combustível, com valores zero, sendo este um entendimento já consolidado. Vide Tabela 03.

Tabela 03–Tabela de Consumo e eficiência energética sob veículos Automotores Leves.

Ano: 2014	Modelo: Todos
Categoria: Todas	Motor: Todos
Marca: Todas	

INMETRO

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA,
QUALIDADE E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE

Tabelas de Consumo/Eficiência Energética
Veículos Automotores Leves
Categoria Todas

Modelos com classificação PBE para ENCE
Comparação entre modelos participantes

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

Ano 2014
36 Marcas
599 Modelos/Versões
174 Modelo(s) com Selo COMPET

Classificação quanto a Emissão de Poluentes

Menor Emissão = 3 estrelas

MAIOR EMISSÃO = 1 ESTRELA

Não Disponível



ND

Valor de CO2 da emissão ao escapamento referente ao combustível de origem fóssil não renovável

Categoria	Marca ⁽⁷⁾	Modelo ⁽⁷⁾	Motor	Versão	Transmissão Velocidades (n ^o)	Ar Cond.	Direção Assistida	Combustível	Emissões no Escapamento										
									Manual (M)	Automática (A)	Automática Dupla Embreagem (DCT)	Automatizada (MTA)	Contínua (CVT)	Poluentes ⁽⁷⁾				Gás Efeito Estufa ⁽⁷⁾	
														Etanol (E)	Gasolina (G)	Flex (F)	Redução Relativa ao Limite	Etanol	Gasolina
SUB COMPACTO	CHERY	QQ	1.0-12V	1,0	M-5	S	H	G	0,029	0,446	0,061	***	\	105					
SUB COMPACTO	CHERY	Face	1.3-16V	1,3 Flex	M-5	S	H	F	0,009	0,439	0,053	***	0	120					
SUB COMPACTO	FIAT	Novo Uno	1.0-8V	Attractive (2015)	M-5	N	H	F	0,029	0,468	0,017	***	0	101					
SUB COMPACTO	FIAT	Novo Uno	1.4-8V	Evolution SBS (2015)	M-5	N	H	F	0,016	0,531	0,023	***	0	96					
SUB COMPACTO	FIAT	Novo Uno	1.0-8V	Vivace 2 Portas	M-5	N	M	F	0,019	0,248	0,019	***	0	100					

Fonte: INMETRO(2014)

2.5 –GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

2.5.1 – Mecanismos de Desenvolvimento mais Limpo (MDL).

Segundo dados do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT - 2014), os projetos de MDL devem estar relacionados à troca de energia de origem fóssil por outra de energia renovável, com o intuito de

otimizar o uso de energia, promovendo o desenvolvimento sustentável com a respectiva redução ou ajuda no controle dos seguintes gases de efeito estufa estabelecidos pelo protocolo de Quioto: “dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e perfluorcarbonos (PFCs)”.

No Brasil, o responsável pela avaliação dos projetos de MDL é a Comissão Interministerial de Mudanças Globais de Clima (CIMGC), a qual considera os seguintes aspectos:

- Participação voluntária por cada parte envolvida;
- Documento de Concepção de Projeto (DCP);
- Relatório de Validação;
- Contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável do país.

Em relação ao último item, contribuição ao desenvolvimento sustentável, cinco critérios são avaliados: Distribuição de renda, sustentabilidade ambiental local, desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de emprego, capacitação e desenvolvimento tecnológico, e integração regional e articulação com outros setores.

Os projetos de MDL podem ainda ser divididos em duas categorias:

1^a Atividade de Projeto – É uma medida, operação ou ação que tenha por objetivo reduzir emissões de GEE.

2^a Programa de Atividades – É uma ação voluntária, coordenada por uma entidade pública ou privada, que implementa políticas, medidas ou objetivos estabelecidos. Ele incorpora, dentro de um só programa, um número ilimitado de atividades programáticas com as mesmas características – essas atividades são denominadas CPAS.

Ultrapassado o entendimento sistêmico quanto aos conceitos e diretrizes de um MDL, vale registrar historicamente as referências que temos quanto aos projetos. Até 30 de novembro de 2014, 7.579 atividades de projeto encontravam-se registradas. Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2014): “O Brasil ocupava o 3^o lugar em número de atividades de projeto, com 330 projetos atividades de projeto registradas (4%), sendo que, em primeiro lugar, encontrava-se a China com 3.763 (50%) e, em segundo, a Índia com 1.1536 projetos (20%)”. Vide Tabela 04.

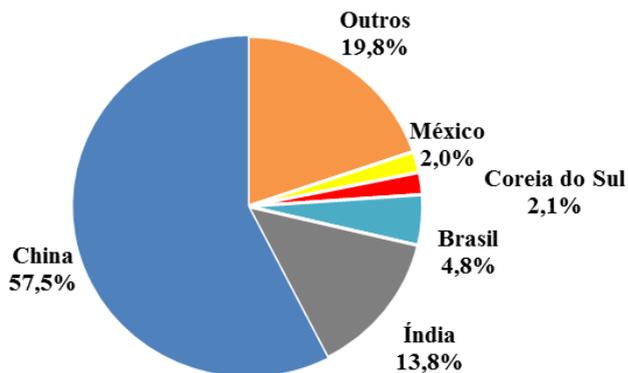
Tabela 04 – Distribuição do total de atividades de projeto registradas por país no Comitê executivo dos Mecanismos de Desenvolvimento Mais Limpo até 30 de novembro de 2014.

Países	Percentual de Projetos
China	50%
Índia	20%
Outros	13%
Brasil	4%
Vietnã	3%
México	3%
Malásia	2%
Indonésia	2%
Tailândia	2%
Coreia do Sul	1%
Total	100%

Fonte: UNFCCC / CIMGC, 2014.

A Tabela 04 demonstra o potencial na redução de emissões. Se analisarmos a estimativa de reduções dos GEE associadas aos projetos no ciclo do MDL, até novembro de 2104, podemos perceber que o Brasil era o terceiro no ranking, vindo a gerar uma redução de mais de 370 milhões tCO₂eq, o que correspondia a 4,8% do total mundial. Segundo MCT (2014), “A China ocupa o primeiro lugar com estimativa de redução em torno de 4,4 bilhões tCO₂eq (57,5%), seguida pela Índia com mais 1 bilhão de tCO₂eq (13,8%) de redução de emissões projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos”. Vide Figura 07.

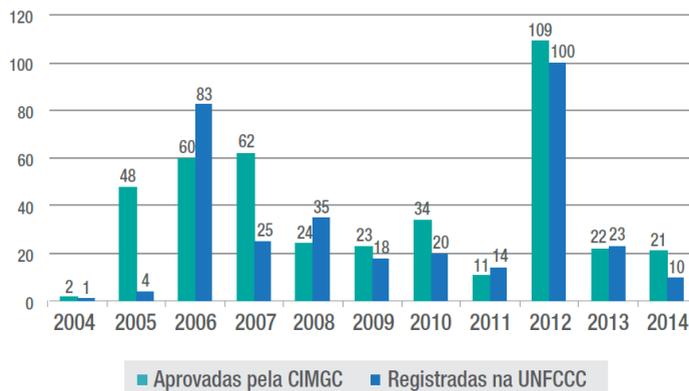
Figura 07 – Estimativa de redução de emissões por países para o primeiro período de obtenção de créditos das atividades de projeto registradas até 30 de setembro de 2014.



Fonte: UNFCCC / CIMGC, 2014

Até 30 de novembro de 2014, o Brasil recebeu 457 atividades de projeto, 420 foram aprovadas pela CIMGC, sendo 330 já registradas pelo Conselho Executivo do MDL, quantidade equivalente a 4% do total mundial. Vide Figura 08.

Figura 08 – Status dos projetos brasileiros no Conselho Executivo do MDL até 30 de setembro de 2014.

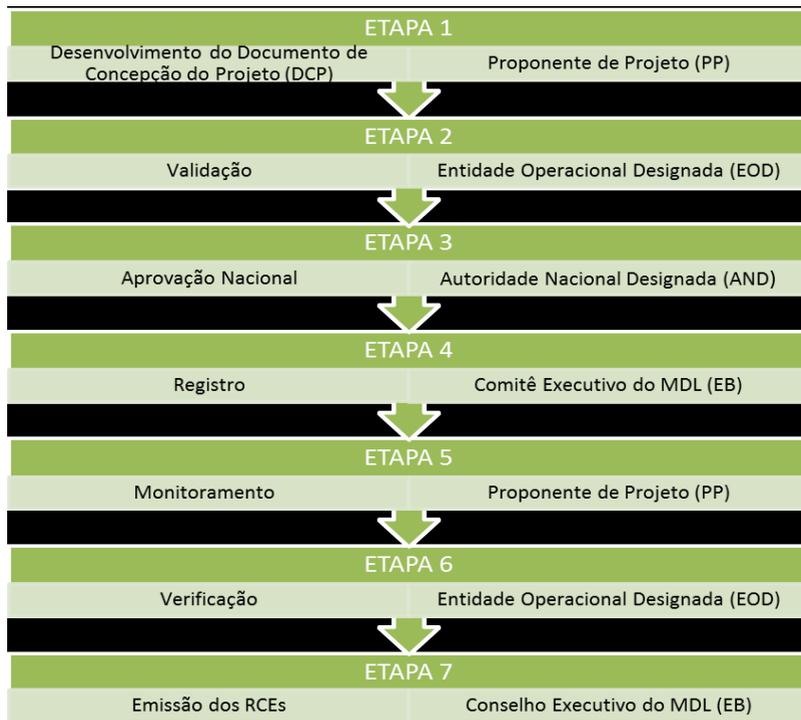


Fonte: UNFCCC / CIMGC, 2014

2.5.2 – Etapas para Requisição de Créditos de Carbono.

Ultrapassado o entendimento do significado de um MDL, seus requisitos e histórico, passamos a aprofundar em um entendimento quanto ao reconhecimento e requisição dos Créditos de Carbono propriamente ditos. Abaixo, uma tabela simplificada com as etapas a serem cumpridas. Vide Tabela 05.

Tabela 05 – Ciclo de desenvolvimento de um Projeto MDL e responsabilidades.



Fonte: UNFCCC / CIMGC, 2014

Após todo o ciclo de validação, aprovação e registro, o projeto ganha escopo e reconhecimento efetivo de MDL com prerrogativa para captar e gerar RCEs.

Embora o desenvolvimento sustentável e a redução de GEE sejam os principais objetivos dos projetos de MDL, este relatório enfoca na redução dos gases de efeito estufa, a quantificação desta redução, os tipos de projetos e sua distribuição, abordando de maneira quantitativa o mecanismo, com a finalidade de demonstrar os resultados do MDL obtidos no Brasil em relação aos projetos implementados no mundo.

3 – METODOLOGIA

3.1 – COMPARATIVO DAS EMISSÕES DIRETAS GASOLINA *versus* ETANOL.

Para atender aos objetivos predispostos neste tópico, foram tomados como referência os valores medidos, enviados e divulgados pela CETESB(Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental), a qual, segundo prerrogativa do IBAMA, é quem detém, regula, monitora e homologa as emissões veiculares, outorgando ou não a capacidade de inserção no mercado brasileiro de novos produtos que atendam às normas e limites estabelecidos de emissões, segundo resoluções da CONAMA.

É mister esclarecermos como metodologia que existe uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 299 de 25/10/2001, e a resolução CONAMA 18/866, que estabeleceram o PROCONVE, criando o Relatório de Valores de Emissão de Produção (RVEP). Nesses relatórios, os fabricantes ou importadores informam os valores de emissão dos ensaios realizados em amostras dos veículos em produção. Assim, mesmo que haja uma variação em um ou outro ensaio, é realizada uma série de amostragens para que se garanta homogeneidade dos veículos que estão sendo produzidos e comercializados.

Como Agente Técnico Credenciado do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a CETESB recebe semestralmente os relatórios que variam com o volume de cada versão e modelo fabricado.

O intuito de comparar estes relatórios nos traz com exatidão as diferenças diretas de emissões oriundas da combustão do etanol, da gasolina e ou de suas misturas. Essas medições também se relacionaram à variação das emissões em diferentes modelos, marcas e motorizações.

Percebe-se que quase a totalidade das montadoras emprega um fator de segurança entre os limites de emissões estabelecidos legalmente e aqueles alcançados em seus ensaios de homologação. Isto se justifica como garantia da dispersão no processo produtivo, alcançando um produto viável com valores sempre abaixo do mínimo legal.

3.2 –REDUÇÃO GEE.

A compilação de todos os dados para calcular o balanço energético de um biocombustível envolve uma análise comparativa bem detalhada quando da utilização de uma ou outra fonte energética. A questão mais relevante dentro do contexto aqui abordado é a redução nas emissões de GEE, com a correspondente mitigação total do efeito estufa, quando um veículo consome etanol da cana-de-açúcar em vez de gasolina já com adição de etanol, como regulamentado tradicionalmente nas bombas de combustíveis brasileiras.

No presente estudo, conseguimos mensurar a mitigação dos GEE com a variação da utilização do etanol *versus* gasolina em um veículo capaz de trabalhar com um ou outro combustível. Este tipo de sistema é comum nos veículos brasileiros, possibilitando que o motor trabalhe com etanol, gasolina ou a mistura dos dois em diferentes proporções, ditos motores *Flex Fuel*.

A pesquisa foi subdividida em tópicos para que, ao final, pudéssemos mensurar e comparar as diferenças das emissões dos GEE, levando-se em consideração o balanço energético e também o rendimento de um ou outro combustível, vislumbrando assim a eficiência de cada um para realização do mesmo trabalho.

3.2.1 – Autonomia e Consumo de Combustível

Primeiramente, analisou-se a autonomia quanto à utilização dos dois combustíveis. Preponderantemente, esta análise se deu em um veículo com sistema de alimentação de combustível com tecnologia *Flex Fuel*, capaz de funcionar com ambos os combustíveis ou sua mistura. Foram tomadas como referência medições sobre um veículo da marca Fiat, ano/modelo 2014, motorização 1.8, versão *Adventure*. As referidas medições poderiam ser sobre outras marcas e modelos, podendo haver resultados diferenciados, já que cada marca e modelo possui estratégias diferenciadas de calibração de injeção.

Foram considerados alguns parâmetros nas diferentes medições comparativas, para que se pudesse ter coerência e robustez na resposta, uma vez que cada parâmetro pautado abaixo poderia interferir diretamente na diferença de consumo e, conseqüente, nas emissões dos GEE. Considerou-se em cada ciclo de medições:

1 – Ciclos de Medições: Realizaram-se 3 ciclos de medições sobre cada combustível para aumentar a representatividade das amostragens.

2 – Qualidade do Combustível: Os abastecimentos foram realizados em um mesmo posto de combustível, uma medida adotada para padronizar a qualidade do mesmo.

3 – Posição de Abastecimento: Foram realizados os abastecimentos na mesma bomba e com o mesmo parâmetro de enchimento, porque o ângulo de inclinação do veículo poderia vincular a quantidade de combustível a ser inserido no tanque, além de ter sido pautado o enchimento até que a bomba desarmasse pela segunda vez na 1ª velocidade.

4 – Calibragem dos Pneus: Os pneus foram devidamente calibrados no início de cada ciclo, pois a calibragem influencia no consumo ao interferir na resistência à rolagem do veículo. Realizou-se a calibragem dos pneus a frio, ou seja, sem que o mesmo houvesse percorrido longas distâncias, mas apenas 2,6 km. A temperatura dos pneus influencia na dilatação do ar e, conseqüentemente, na pressão do pneu que estava sendo calibrado.

5 – Percurso: Foi realizado o mesmo trajeto rodoviário de 290 km em cada medição, para quase pudesse ter o rendimento e desempenho do motor exposto sem uma quantidade maior de quilômetros.

6 – Horário das Medições: Foi considerado um horário cujo tráfego de veículos fosse mais ameno e homogêneo. As medições foram realizadas das 4:00 às 7:00 horas da manhã.

7 – Temperatura: Buscou-se a realização das medições de forma sequencial, com mesma temperatura ambiente dos dias anteriores, porque a temperatura do ar externo influencia no rendimento e desempenho do motor devido à sua dilatação na câmara de combustão, influenciando, conseqüentemente, a quantidade de combustível necessária para o trajeto.

8 – Velocidade: Buscou-se trafegar na via em velocidades constantes, utilizando os mesmos parâmetros em ambas as condições de medições. Foi estabelecida uma velocidade de 90 km/h na maior parte do percurso.

9 – Condições de Medições: Além de todos os parâmetros acima considerados, buscou-se uma equidade na forma de dirigir, a fim de obter dados comparativos o mais significativos possível. Foram realizadas todas as medições com as janelas do veículo fechadas, o ar-condicionado inserido na velocidade 1, rotações e trocas de marchas suaves.

Para elaboração dos resultados encontrados, foi utilizado preponderantemente o volume de combustível sobre cada abastecimento, obtendo-se assim a média de autonomia. Também foi

considerado o próprio sistema do veículo, que já disponibiliza tal informação. Vide Figura 09.

Figura 09– Exemplo da medição registrada no segundo dia de testes utilizando etanol.



Fonte: Leite (2016)

3.2.2 – Mitigação dos GEE considerando o Ciclo Vida.

Primeiramente, foi realizado um comparativo de autonomia na utilização dos dois tipos de combustíveis, conforme evidenciado no tópico anterior. Após essa análise, procedeu-se à investigação da mitigação das emissões dos GEE, estudando e comparando as peculiaridades de ambos os combustíveis, levando-se em conta o ciclo de vida dos mesmos com base nas bibliografias correlacionadas no presente trabalho.

Quanto à mitigação dos GEE, foram adotadas principalmente as referências precedentes a Macedo (2008), já mensuradas em capítulos anteriores. Comparamos de forma simples as diferenças encontradas na geração, utilização e queima da gasolina *versus* etanol, partindo da quantidade em quilos de CO₂ gerados para cada litro do respectivo combustível utilizado.

Levaram-se ainda em consideração dois fatores extremamente relevantes. O primeiro, a utilização desses combustíveis na modalidade de comercialização brasileira “etanol hidratado *versus* gasolina com mistura”. O segundo, a autonomia para geração do mesmo trabalho desenvolvido por cada um dos combustíveis.

Foi realizado um experimento que consistiu em utilizar um mesmo veículo e modelo de uma montadora. No caso, o Fiat *Strada Adventure* motor 1.8cc E-Torq, que, utilizando a tecnologia *Flex Fuel*, permitiu realizar um comparativo de emissões de CO₂ com cada tipo de combustível.

Em tal cenário, considerou-se o ciclo de vida da gasolina e do etanol, pautando-se as emissões de CO₂ de cada um por litro do respectivo combustível utilizado. Foi medida a quantidade de combustível que seria gasto para percorrer 100km em condições bem semelhantes. Ou seja, considerou-se a autonomia do veículo com diferentes tipos de combustível para a realização de um mesmo trabalho.

3.3 – RECONHECIMENTO DA MISTURA COMBUSTÍVEL.

Para que possamos vislumbrar potencial ganho de créditos de carbono a partir da utilização do etanol combustível, é necessário, segundo o Protocolo de Quioto que, acima de tudo, tenhamos um Mecanismo de Desenvolvimento Mais Limpo (MDL). Um dos pressupostos do MDL mais adiante sugeridos vincula diretamente a compreensão resumida de como se dá o funcionamento de um veículo com tecnologia *Flex Fuel*.

Os veículos possuem uma central de injeção *Engine Control Unit* (ECU) , que gerencia quase todos os sistemas eletroeletrônicos. Esta ECU gerencia também o sistema de injeção de combustível enviando e recebendo sinais a todo instante. Para o sistema de gerenciamento de combustível, a ECU trabalha da seguinte forma:

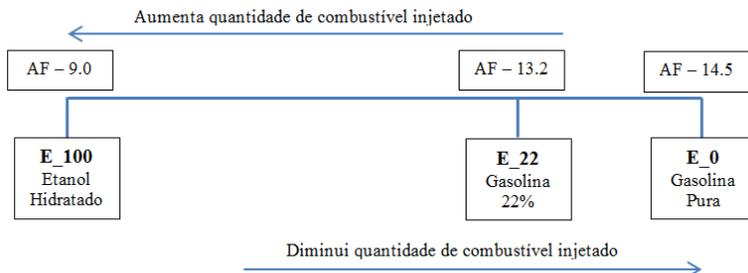
- A ECU recebe informações a todo instante do tipo da queima de combustível que está sendo realizada. As informações advêm de um sensor de oxigênio conhecido também como sonda lambda;
- No passado, utilizava-se um sensor específico e até mais caro que identificava o tipo de combustível que estaria na câmara de combustão. Hoje, a identificação é feita diretamente pela própria ECU com base na queima do combustível e respectiva variação de O₂;
- A sonda é normalmente instalada na saída de gases do motor, no sistema de escapamento, antes mesmo de passar pelo catalisador. Ela consegue identificar os níveis e a qualidade da queima do combustível, transformando-os em dados para ECU,

que gerencia e adapta o funcionamento do motor (ABRAHAM et al, 2010).

- A Sonda Lambda possui uma função / relação estequiométrica que identifica mistura rica (0,5 – mais combustível) e mistura pobre (1,5 – mais ar do que combustível), sendo 1,0 a mistura ideal. A ECU, a todo o momento, sempre tenderá a trabalhar estabilizada (1,0 – mistura ideal). Quando se faz esta adaptação, consegue-se evidenciar qual tipo de combustível está sendo queimado segundo a própria quantidade necessária para se adaptar.
- O etanol possui identificação E-100 (100% etanol), já a gasolina pura possui E-0. Quanto maior a quantidade de gasolina presente na mistura, menor a quantidade de combustível injetado, e, quanto maior a quantidade de etanol na mistura, mais combustível injetado. A quantidade de combustível para atingir uma função estequiométrica está relacionada ao tipo e quantidade de combustível que está sendo queimado (ver Figura 20).
- O veículo em funcionamento normalmente não é abastecido e não existe variação de combustível. Porém, existem várias estratégias de aprendizado e reconhecimento de combustível que podem variar segundo cada montadora. O aprendizado de combustível “relação ar *versus* combustível” (AF – *Air Fuel Ratio*) é realizado, por exemplo, no caso de variação do nível do tanque, após determinada quilometragem, toda vez que o carro for ligado.
- Os carros novos saem das linhas de montagem com um AF travado em determinado combustível. Algumas concessionárias orientam a fazer o primeiro abastecimento somente com um determinado tipo de combustível para garantir a eficiência do aprendizado.

Abaixo, Figura 10, com esquema simplificado do aprendizado de combustível, onde podemos perceber que há um reconhecimento do tipo de combustível que está sendo utilizado em determinado momento.

Figura 10 – Esquema de aprendizado de combustível.



AF - Aprendizado de combustível "Air Fuel Ratio"

A sonda possui função estequiométrica. Adapta conforme queima do combustível.

Conforme AF. Se sabe qual o combustível que esta sendo queimado na câmara de combustão.

Fonte: Leite (2016).

Para a aquisição de dados sobre o reconhecimento da mistura de combustível, que está sendo queimada em determinado veículo, foi monitorada uma central de injeção ECU. Com os dados dessa central, é possível verificar todos os parâmetros de calibração, bem como as relações de mistura do combustível.

Podemos dizer que, atualmente, a ECU (Central de Injeção) de um veículo é um computador capaz de gerenciar inúmeras informações em um curto espaço de tempo. Se a ECU identifica a todo o momento o combustível que está sendo queimado na câmara, torna-se possível a identificação do tipo de combustível que foi ou está sendo utilizado em determinado espaço de tempo e/ou quilometragem, servindo como parâmetro para identificar possível mitigação na redução dos GEE.

Na Figura 11, é possível observar um exemplo dos parâmetros cíclicos obtidos a partir de uma central de injeção, em que pode ser notado o monitoramento das interfaces de funcionamento.

Figura 11 – Dados da Central de Injeção evidenciados sobre veículo em funcionamento. Aquisição via SW do Central x Notebook.

The screenshot displays the diagnostic software interface with the following components:

- Trace BYTE:** Shows raw CAN bus data in hexadecimal and ASCII.
- Trace DATA:** Shows decoded CAN bus messages. Key messages include:

Address	Type	Sub-address	Data	Decoded Message
83.11551	Tx	3	F4->10 : 22 21 E7	: ReadDataByIdentifier
83.12503	Rx	5/5	10->F4 : 62 21 E7 00 84	: RDI_21E7 Air Fuel Ratio Read
83.12676	Tx	3	F4->10 : 22 21 E7	: ReadDataByIdentifier
83.13446	Rx	5/5	10->F4 : 62 21 E7 00 84	: RDI_21E7 Air Fuel Ratio Read
83.13549	Tx	3	F4->10 : 22 21 E7	: ReadDataByIdentifier
83.14503	Rx	5/5	10->F4 : 62 21 E7 00 84	: RDI_21E7 Air Fuel Ratio Read
83.14677	Tx	3	F4->10 : 22 21 E7	: ReadDataByIdentifier
83.15447	Rx	5/5	10->F4 : 62 21 E7 00 84	: RDI_21E7 Air Fuel Ratio Read
83.15549	Tx	3	F4->10 : 22 21 E7	: ReadDataByIdentifier
- Control Panel - Parameter Reading:** Shows 'Parameters Acquisition: 1 / 250' and 'Send Request' checked. The 'Find' field contains 'air fuel'. The 'Message' list includes:
 - RDI_21E7 Air Fuel Ratio... DID_DATA
 - RDI_21E8 State Flex Fuel... DID_DATA
 - RDI_21FB Recovery syst... DID_DATA
 - RDI_21FC Enable Hex Read DID_DATA
 - RDI_280E PRD0 WRITE... PRD0 Write Counter
- Trace Commands:** Shows the decoded message:


```
- DID_DATA [RDI_21E7 Air Fuel Ratio Read] ( Fuel Ratio = 13.20 ; )
```

Fonte: Leite (2016).

4 – RESULTADOS.

4.1 – EMISSÕES DIRETAS“GASOLINA *versus* ETANOL”.

Sobre o comparativo de emissões veiculares utilizando-se gasolina, etanol ou a mistura dos dois, no presente trabalho, nos balizamos nos resultados declarados e divulgados pela CETESB 2014.

Não obstante todo o monitoramento dos diversos fabricantes e importadores, vemos nas Tabelas 06 e 07 emitidas pela CETESB(2014), que as emissões veiculares, de um modo geral, produzem poluentes, quando utilizam tanto gasolina quanto etanol. No caso deste estudo, o CO₂ como principal fator de emissão de GEE está presente na combustão de ambos os combustíveis.

Tabela 06 – Gases emitidos por veículos automotores.

Poluentes	Automóveis e comerciais leves do		Motocicletas		Veículos do Ciclo
	Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado	Diesel
Monóxido de carbono (CO)	√	√	√	√	√
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	√	√	√	√	√
Material Particulado (MP)	√		√		√
Hidrocarbonetos não-metano (NMHC)(1)	√	√	√	√	√
Metano (CH ₄)	√	√	√	√	√
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	√		√		√
Dióxido de carbono (CO ₂)	√	√	√	√	√
Aldeídos (RCHO)	√	√			
Óxido Nitroso (N ₂ O)	√	√	√		√

Fonte: CETESB 2014.

Para efeitos didáticos e buscando esclarecer eventuais dúvidas quanto aos poluentes apresentados na figura acima, segundo MMA & Lima/Coppe/UFRJ (2002), o álcool praticamente não possui enxofre em sua composição, logo o seu uso não contribui para a emissão de SO₂, e, ainda, a sua menor complexidade molecular possibilita uma combustão com baixíssima formação de partículas de carbono, o que resulta em uma emissão desprezível de MP.

Tabela 07 – Comparativo de emissões com diferentes combustíveis.

A no	Combustível (1)	FasePr oconve	CO (g/km)	CO ₂ (g/km)	Auton.(km/L)
201 2	Gasolina C	L5	0,273	199	11,1
	Flex-Gasol.C		0,267	180	12,1
	Flex-Etanol		0,474	173	8,5
20 13	Gasolina C	L5	0,237	220	10,2
	Flex-Gasol.C		0,227	176	12,5
	Flex-Etanol		0,424	169	8,6
201 4	Gasolina C	L5	0,216	205	11,1
	Flex-Gasol.C		0,229	173	12,6
	Flex-Etanol		0,382	165	9,2

Gasolina C = Gasolina + Etanol Anidro

Flex-Gasol . C = Gasolina + Etanol Hidratado

Flex-Etanol = Etanol Hidratado

Fonte: CETESB 2014.

De um modo geral, há diferença nas emissões diretas de CO₂, já sendo um pouco menores na utilização da matriz energética “Etanol”. Podemos concluir que tanto a gasolina, etanol ou mesmo a mistura destes combustíveis geram emissões de GEE, em especial o CO₂, sendo quantitativamente mais presente na utilização da gasolina.

Apesar de não ser o tema principal abordado neste tópico, é interessante esclarecer que, embora o etanol tenha emissões diretas relativamente inferiores, o mesmo tem um poder calorífico cerca de 40% menor do que a gasolina, e sua alta octanagem permite que o motor opere com altas taxas de compressão, o que resulta em maior rendimento térmico que os motores a gasolina. Mas, apesar de um poder calorífico inferior, o consumo específico do álcool só é cerca de 20% maior que o da gasolina, por isto é relevante a consideração pautada na tabela acima, em que foram considerados as emissões por quilômetro rodado, refletindo a respectiva eficiência de cada combustível(VILLELA 2010).

Passando agora a uma análise das emissões da “gasolina *versus* etanol”, considerando o ciclo de vida de ambos os combustíveis, conforme pautado no item 2.4,segundo os precedentes de Macedo (2008). Vemos que, em uma análise completa de emissões, devem ser considerados outros fatores. Ou seja, o ciclo de vida de cada combustível desde sua matéria-prima original, incluindo a extração, processamento, transporte, queima, regeneração e rendimento. Neste diapasão, concluímos substancialmente que a geração de emissões de CO₂ em cada um dos ciclos de combustíveis (Gasolina vs. Etanol)

reflete, sim, muita diferença nas emissões dos GEE, sendo viável a mitigação pelo uso de um ou outro combustível.

Apesar de não termos considerado a possibilidade de redução ainda maior dos GEE pelo aumento da colheita mecanizada e do reaproveitamento térmico da queima da palha em caldeiras, há atualmente uma forte e maciça tendência deste tipo de colheita e aproveitamento. Os valores referendados são de 2008, porém acredita-se que hoje já há uma redução nos níveis de emissões de CO₂ na produção de etanol no Brasil devido a colheitas de cana-de-açúcar mecanizadas e redução da queima da palha. (FIGUEIREDO & LA SCALA JR., 2011); (RUDORFF et al., 2010).

Para ter uma ideia, no estado de São Paulo, onde se concentra o maior volume de produção de etanol, já existe regulamentação para eliminação total e gradativa da queima da palha, conforme preceitua a Lei Estadual nº. 11.241/2002 regulamentada pelas Resoluções da Secretaria do Meio Ambiente São Paulo (SMA) nº 30/2015 e nº 40/2014.

Neste capítulo, concluímos que tanto a gasolina quanto o etanol ea mistura destes combustíveis apresentam emissões diretas de GEE, sendo parecidas quando analisadas isoladamente. Porém, focando em especial nas emissões de CO₂, e analisando todo o seu ciclo de vida, vemos grandes diferenças, como mais adiante passaremos a expor.

4.2–MITIGAÇÃO GEE NA UTILIZAÇÃO DO ETANOL

A compilação de todos os dados para calcular o balanço energético de um biocombustível envolve uma análise comparativa bem detalhada quando da utilização de uma ou outra fonte energética. Conforme metodologia empregada, ficou demonstrado, através de medições de dados primários, o ganho considerável na redução dos GEE quando utilizado o etanol combustível.

Abaixo, subdividimos os resultados encontrados em tópicos apartados, afim de estratificar a conclusão do presente trabalho.

4.2.1 – Autonomia Etanol vs. Gasolina.

Primeiramente, analisamos a autonomia quanto à utilização dos dois combustíveis. Preponderantemente, esta análise se deu em um veículo com sistema de alimentação de combustível com tecnologia *Flex Fuel*, que é capaz de funcionar com ambos os combustíveis ou sua

mistura, conforme descrito no item 3.3, “Reconhecimento da Mistura Combustível”.

Na Tabela 08, apresentamos um resumo, em forma de tabela, dos dados de consumos e autonomia encontrados, em que podemos evidenciar uma diferença de rendimento do etanol para a gasolina, a menor de aproximadamente 27%. No presente capítulo, o que se buscou evidenciar foi a diferença de rendimento de um e outro combustível.

Tabela 08 –Resumo comparativo de autonomia de combustíveis “Etanol x Gasolina”.

Média Autonomia Combustível								
Med.	Combustível	Distância Km	Tempo Horas	Media Vel. Km/H	Litros Combustível	Performance Km/Litro	Media Km/Litro	Litros x 100 Km
1o	Gasol. 27%	291,2	03:31	82,81	26,21	11,110	11,130	8,985
2o	Gasol. 27%	290,7	03:35	81,13	25,82	11,259		
3o	Gasol. 27%	290,4	03:22	86,26	26,35	11,021		
4o	Etanol	292,6	03:25	81,66	36,38	8,043	8,120	12,316
5o	Etanol	290,5	03:38	79,95	35,20	8,253		
6o	Etanol	291,1	03:32	82,39	36,10	8,064		

Fonte: Leite (2016).

Para facilitar nosso estudo, que mais adiante será aprofundado, podemos concluir que, para deslocar uma mesma distância de 100km, são necessário 8,985 litros de gasolina (com 27% de etanol anidro)e 12,316 litros de etanol 100%. Ou seja, o rendimento da gasolina é maior. É necessária uma menor quantidade de gasolina para realizar o mesmo trajeto / trabalho que o etanol realiza. Essa diferença será, mais adiante, de fundamental importância para o nosso estudo, devendo ser considerada na proposta de mitigação dos GEE.

A diferença se deu sobre o experimento realizado, podendo haver pequenas variações segundo a diversidade de fabricantes e modelos de veículos disponíveis no mercado. Contudo, não se acredita em grande disparidade, pois, segundo os manuais de uso, manutenção e garantia de alguns fabricantes, as diferenças ficam em torno de 26% a 30% de rendimento “etanol vs. gasolina” não se sabendo dizer, neste momento, se a diferença não viria a cair após a implementação da adição de 27% de etanol na gasolina, que antes era 25%.

4.2.2 – Redução dos GEE pelo Uso do Etanol.

A mitigação das emissões dos GEE com a utilização do etanol em substituição à gasolina está embasada e evidenciada nas bibliografias correlacionadas no presente trabalho, mais os resultados obtidos no tópico anterior. As mesmas foram consideradas neste tópico a fim de demonstrar a respectiva diferença de emissões totais na utilização de um ou outro tipo de combustível.

Em síntese, para caracterização da mitigação das emissões estudada neste tópico, observou-se principalmente:

- Relação da energia do etanol de cana com a energia fóssil utilizada em sua produção, dito balanço energético (razão entre a energia total contida no biocombustível produzido e a energia fóssil investida na sua produção);
- Emissões de outros gases poluentes, GEE CH_4 e N_2O , durante a produção do combustível;
- Impacto do tipo de colheita: manual com queima vs. mecanizada sem queima prévia”;
- Ciclo de vida total de ambos os combustíveis determinando-se a diferença de emissões de um e outro. Lembrando que, no caso do etanol, trata-se de um combustível renovável;
- Considerou-se também a performance de cada combustível. Nesse caso, adotamos parâmetros para igualar o trabalho realizado por ambos, vislumbrando daí a diferença dos mesmos.

Seguindo os precedentes de Macedo (2008) já mensurados em capítulos anteriores, concluímos substancialmente que a geração de emissões de CO_2 em cada um dos ciclos combustíveis (Gasolina vs. Etanol) reflete, como previsto, muita diferença nas emissões dos GEE. Segundo Macedo (2008), as emissões de CO_2 por cada litro de gasolina durante seu ciclo de vida é de cerca de 2,5 a 2,6 Kg CO_2 .

Para as emissões do etanol, foram ilustrados abaixo valores e etapas resumidas do ciclo, considerando uma análise de 2008 em que a grande maioria da colheita era ainda manual com a queima da palha. Vide Tabela 09. **Tabela 09**- Emissões e fixação de CO_2 calculados pela análise de ciclo de vida do etanol.

Fontes	KgCO ₂ /litro
Cultivo e Colheita	2,961
Processamento	3,604
Transporte	0,050
Combustão	1,520
Crescimento cana	-7,650
Emissão Líquida	0,485

Fonte: Macedo (2008).

Assim, considerando os dados referenciados na metodologia pautada no presente trabalho, a gasolina pura gera cerca de 2,5 a 2,6 Kg de CO₂ por litro em quanto o etanol anidro gera cerca de 0,485 Kg de CO₂ por litro, isto **sem considerar na época do estudo** uma crescente redução da queima da palha, cuja estimativa é uma redução de cerca de 18% nas emissões.

Se consideremos ainda a utilização destes combustíveis na modalidade de comercialização brasileira “etanol hidratado vs. gasolina com mistura” teríamos emissões em torno de:

- Etanol Hidratado (95% Etanol Anidro + cerca de 5% Água)

Foi considerado o Etanol Hidratado na fase de combustão como sendo 95% do Etanol Anidro

Etanol Anidro Fase Combustão: 1,520 Kg CO₂/Litro

Etanol Hidratado Fase Combustão: 95% x 1,52 = 1,444 Kg CO₂/Litro

Diferença Etanol Anidro para Hidratado:(1,52 combustão - 1,444 combustão) = 0,076 Kg CO₂/Litro

Emissão Líquida do Etanol Anidro: 0,485 Kg CO₂/Litro

Emissão líquida do Etanol Hidratado: (0,485 - 0,076) = **0,409**

Kg CO₂/Litro

- Gasolina C “Misturada - Vendida nos Postos de Abastecimento”: 27% Etanol Anidro e 73% Gasolina Pura.

Gasolina pura: 2,5 a 2,6 Kg CO₂/Litro

Etanol Anidro: 0,485 Kg CO₂/Litro

1 Litro de Gasolina C: (27% de 0,485 = 0,13095) + (73% de 2,55 = 1,8615). **1,99245Kg CO₂/Litro.**

- Gasolina C x Etanol Hidratado

Diferença: $1,99245 - 0,409 = 1,583 \text{ Kg CO}_2/\text{Litro}$ a mais que o etanol hidratado.

Utilizando alguns dados pautados anteriormente, realizamos um experimento utilizando o mesmo veículo de uma mesma montadora, no caso o *Strada Adventure* da Fiat (motor 1.8cc E-Torq), que possui a tecnologia *Flex Fuel* (tecnologia que permite a combustão tanto com gasolina, etanol ou mistura). Isso nos permitiu realizar uma comparação das emissões de CO_2 com cada tipo de combustível, gasolina ou etanol.

Considerou-se, para tanto, o ciclo de vida da gasolina e do etanol, pautando-se nas emissões de CO_2 para cada litro de combustível e sua respectiva autonomia.

No experimento, observou-se que, para rodar 100km, necessitávamos de 12,316 litros de etanol hidratado, e que, para estes mesmos 100km, necessitávamos de 8,985 litros de gasolina misturada. Considerando que cada litro de etanol hidratado gera 0,409 Kg CO_2 e que cada litro de gasolina misturada gera 1,992 Kg CO_2 , para os 100km percorridos tivemos 5,037 Kg CO_2 quando utilizamos etanol e cerca de 17,902 Kg CO_2 quando utilizamos gasolina misturada. Ou seja, o etanol gera uma diferença de cerca de **3,554 vezes menos** emissões de CO_2 para realização de um mesmo trabalho e percurso que a gasolina misturada.

- Diferença: $17,902 / 5,037 = 3,554$ vezes.

O que representaria uma **mitigação de 71,86% na emissão GEE** comparando as duas matrizes de energia.

- Redução: $17,902 - 5,037 = 12,865 \text{ Kg CO}_2$ menos que o Etanol, que corresponde a 71,86%

Para efeitos didáticos, utilizando dados declarados pelo fabricante e considerando este mesmo experimento, para gasolina pura como costumeiramente utilizado em diversos outros países do mundo, a mitigação seria ainda maior, em torno de **4,22 vezes menos** emissões de CO_2 do que o etanol, o que representaria uma mitigação de **76,1%** na emissão de gases de efeito estufa como pautado abaixo:

Abaixo tabela simplificada com os valores apurados no experimento. Vide Tabela 10:

Tabela 10 – Tabela resumo emissões evitadas CO_2 .

Mitigação GEE "Strada Adv 1.8 E-Torq"							
Med.	Combustível	Performance Km/Litro	Media Km/Litro	Litros x 100 Km	Kg CO ₂ Litro	GEE Emitido 100 Km "Kg CO ₂ "	Emissão Evitada Ref. "Etanol"
1o	Gasolina Misturada	11,110	11,130	8,985	1,99245	17,902	71,86%
2o		11,259					
3o		11,021					
4o	Etanol	8,043	8,120	12,316	0,409	5,037	-
5o		8,253					
6o		8,064					
Dados Montadora	Gasolina Pura	12,2	12,1	8,264	2,55	21,074	76,10%

Fonte: Leite – 2016.

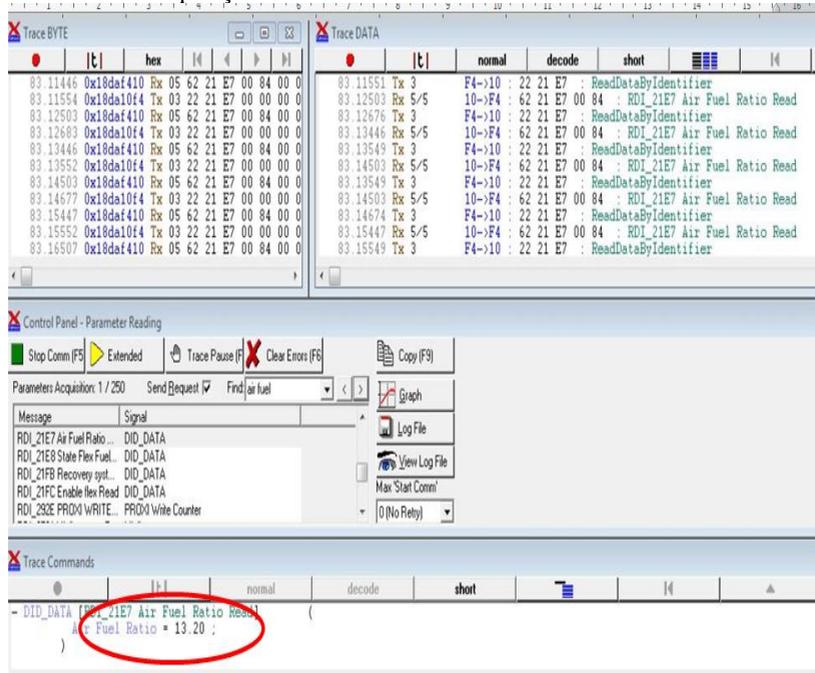
Neste capítulo, concluímos que as emissões dos GEE oriundos da queima do combustível etanol vs. gasolina em veículos automotores possuem significativa diferenciação quando analisado todo o ciclo de vida do combustível, e que a utilização do etanol é capaz de causar reduções consideráveis dos GEE.

4.3 – RESULTADO DA AQUISIÇÃO DA MISTURA DE COMBUSTÍVEL

Depois de desmistificado o potencial ganho na redução das emissões dos GEE com o uso de etanol combustível, elaborou-se um tópico no presente trabalho para desmistificar que um veículo com tecnologia *Flex Fuel* poderia agregar potencial ganho de créditos de carbono.

No presente trabalho, conseguiu-se identificar em um veículo automotor com tecnologia *Flex Fuel* o combustível que estava sendo utilizado instantaneamente na câmara de combustão. Como resultado esperado, vimos conforme metodologia pautada em especial na Figura 11 de referido tópico, que foi possível identificar através da leitura da central de injeção qual combustível estava sendo utilizado pelo veículo em determinado espaço de tempo. O reconhecimento do combustível utilizado se deu através da leitura da central de injeção, que, dentre outras atribuições, controla a mistura combustível que estava sendo utilizada no veículo. Abaixo, o resultado obtido com o monitoramento e aquisição dos dados da central de injeção, dita Figura 11 já correlacionada no tópico 3.3 do presente estudo.

Figura 11 – Dados da Central de Injeção evidenciados sobre veículo em funcionamento. Aquisição via SW do Central x Notebook.



Fonte: Leite (2016).

Dentre os objetivos específicos traçados no presente estudo, ter como resultado a identificação objetiva do combustível que está sendo utilizado por um veículo viabiliza a concretização dos objetivos gerais. Ou seja, quantificar o uso do etanol e conseqüente geração de créditos de carbono.

Se há um reconhecimento de combustível, já se vislumbra posterior monitoramento deste durante determinado período e conseqüente viabilidade da mitigação da redução dos GEE, dependendo do combustível utilizado. Assim, concluímos com o experimento que é possível monitorar a mistura combustível, pois a mesma é a todo instante controlada pela central de injeção.

4.4 – MDL PARA QUANTIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DOS GEE.

Conforme explanado nas referências bibliográficas, para se cogitar a viabilidade da requisição de créditos de carbono advindos de

medidas que reduzam as emissões dos GEE, deve-se observar alguns pressupostos pautados no Protocolo de Quito. Primeiramente, pelo Brasil não fazer parte dos países que possuem metas de redução, já não se configuram medidas diretas para mitigação, podendo estas serem aderidas como forma de repasse a outros países que precisam se enquadrar.

O simples fato de reduzir as emissões não configura pressuposto à aquisição de créditos de carbono. Por isso, uma das formas de obter créditos de carbono é através dos MDL. Os projetos de MDL devem envolver a substituição de energia de origem fóssil por outra de energia renovável, a racionalização do uso de energia, serviços urbanos e outras atividades, promovendo o desenvolvimento sustentável e reduzindo ou ajudando no controle dos seguintes gases de efeito estufa estabelecidos pelo protocolo de Quito: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e perfluorcarbonos (PFCs).

Os projetos de MDL podem ainda ser divididos em duas categorias:

1^a Atividade de Projeto – É uma medida, operação ou ação que tenha por objetivo reduzir emissões de GEE. Este será o nosso embasamento.

2^a Programa de Atividades – É uma ação voluntária, coordenada por uma entidade pública ou privada, que implementa políticas, medidas ou objetivos estabelecidos. Ele incorpora, dentro de um só programa, um número ilimitado de atividades programáticas com as mesmas características – essas atividades são denominadas CPAS. Neste caso, a adição de um percentual maior em 2015 de etanol à gasolina brasileira poderia ser considerada uma categoria de MDL.

Ultrapassada a discussão acima, e focando dentro da 1^a categoria de MDL que pudesse, através de um projeto, reduzir as emissões dos GEE, vemos que a utilização do etanol por si só acarreta a redução dos GEE, porém não constitui um projeto de MDL visto que depende do consumidor utilizar ou não o combustível.

Para preterir créditos de carbono, deve haver um projeto e ou sistema que altere a condição atual e promova redução dos GEE. Ou seja, o simples fato de abastecer com etanol em vez de gasolina reduz os GEE, mas não vincula que o consumidor assim o faça e comprove sua utilização.

Partindo dos pressupostos já pautados nos capítulos anteriores e afim de garantir um projeto que possa, com exatidão, demonstrar a real contribuição do uso do etanol, a proposta contida neste trabalho e

testada embrionariamente foi a de estabelecer, monitorar e quantificar o uso de etanol combustível utilizado em determinado veículo e em determinado espaço de tempo.

Utilizando os dados parametrizados da ECU segundo AF da calibração de injeção, foi possível estabelecer o volume de etanol consumido em determinado espaço de tempo, mesmo havendo a troca de combustíveis.

No caso do veículo analisado (Fiat – *Strada Adventure* 1.8 E-Torq), a ECU já é equipada com diversos parâmetros de consumo, autonomia, velocidade média, tempo de viagem etc. Foi realizada uma análise desses parâmetros através do *Dianalyser* – (sistema muito utilizado em concessionárias e oficinas para identificar erros e ou falhas gravadas na ECU), em que conseguimos quantificar o consumo em litros de etanol utilizado em determinado percurso.

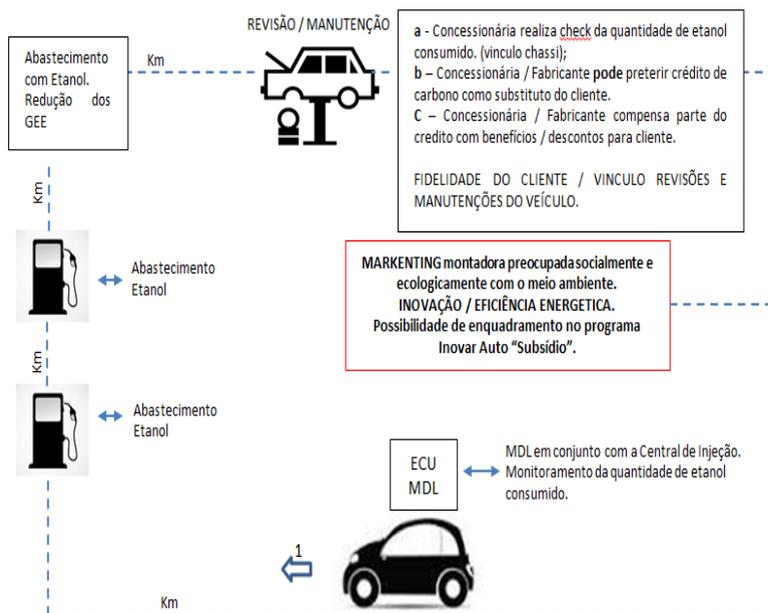
A proposta de MDL seria uma espécie de extensão de memória / HD que pudesse gravar e quantificar os dados já disponíveis na ECU em um arquivo separado. Assim, o consumidor que escolhesse a utilização de etanol como combustível para seu carro poderia demonstrar perante os órgãos competentes o quanto colaborou para redução dos GEE. Além de mensurar, comprovar e quantificar o uso de um combustível mais limpo, o MDL teria o condão de instigar o consumidor à utilização do mesmo, já que poderia ter a prerrogativa de requerer créditos de carbono no futuro.

A proposta de disponibilizar para o consumidor um meio de obter créditos de carbono quando da utilização de etanol combustível em seu veículo parece um tanto burocrática, além de não possuir valor econômico agregado atualmente. Fato é que, independente de ser economicamente viável hoje, a requisição de créditos de carbono pela utilização comprovada de etanol em substituição à gasolina é viável, além de agregar valor à redução dos GEE.

Porém, se algum dos fabricantes de veículos nacionais e/ou importado tivesse interesse, poderia se colocar como substituto do crédito, promovendo e instigando a atenção do consumidor para o uso do etanol combustível. Igual prerrogativa também poderia ser pautada por eventual fabricante para instigar o uso do etanol combustível como medida ecologicamente correta.

Na Figura 12 é possível observar um esquema em que se poderia cogitar possível ciclo de viabilidade na requisição de créditos de carbono a partir do MDL, ou mesmo a utilização deste como *marketing* do fabricante ecologicamente preocupado com a redução dos GEE.

Figura 12 – Esquema ilustrativo das possibilidades praticas na requisição de créditos de carbono.



Fonte: Leite (2016).

5 – CONCLUSÃO

Diante de todas as análises e temas abordados, e buscando responder aos objetivos perseguidos, concluímos inicialmente alguns pressupostos que embasam e coadunam para uma afirmativa mais abrangente. Analisando o cenário global, percebemos um apelo na redução dos GEE, propiciando uma tendência ao desenvolvimento de novas tecnologias e processos mais limpos e eficientes. Dentro deste diapasão, a utilização de energias e matrizes renováveis em substituição às fósseis se mostra como sucedâneo à respectiva mitigação.

Podemos inicialmente afirmar que a utilização do etanol como combustível advindo de uma matriz renovável se mostra mais eficiente e mais limpo que a gasolina oriunda de combustível fóssil, porque, conforme referências bibliográficas, a análise de todo o ciclo de vida ACV do etanol nos direciona a um ganho potencial na redução dos GEE. Não se deve confundir com as emissões diretas medidas sobre a descarga dos veículos automotores, uma vez que, de forma geral, tanto o etanol quanto a gasolina possuem emissões de CO₂. Porém, dentro do ciclo de vida do etanol, as emissões dos GEE são muito baixas em face, principalmente, da fixação do carbono no crescimento dos canaviais, sendo cerca de 3,55 vezes menos emissões de CO₂ que a gasolina brasileira, e 4,22 vezes menos emissões de CO₂ se comparada à gasolina pura. Ou seja, a utilização de etanol combustível reduz as emissões de CO₂ se comparado à gasolina, sendo plausível a redução dos GEE.

Há, contudo, outros fatores que são tema de discussão e que margeiam uma ACV mais abrangente na produção do etanol, podendo gerar impactos diversos daqueles relacionados à emissão dos GEE propriamente ditos. Envolve o uso de fertilizantes, a contaminação do lençol freático, o desmatamento para o plantio da cana, consumo de água, entre outros, que podem gerar impactos socioambientais que não foram considerados no presente trabalho, e são sim relevantes em uma análise mais abrangente para definição de uma matriz energética somente baseada no biocombustível da cana-de-açúcar. Porém, o objetivo delineado neste trabalho não contemplou essa adversidade, que pode ser mais adiante mitigada e abordada.

Ultrapassada a consideração pautada no tópico anterior e vislumbrando o estudo da viabilidade ou não da requisição de créditos de carbono advindos pela utilização do etanol, concluímos primeiramente, segundo o Protocolo de Quioto, a necessidade de um MDL. Assim, com a tecnologia *Flex Fuel* disponível na grande maioria da frota brasileira, a utilização de etanol e ou gasolina é uma escolha do

consumidor, sendo que pode ou não haver redução dos GEE segundo o combustível escolhido. Fato é que, quando o consumidor escolhe o etanol como combustível, ele já está contribuindo para redução dos GEE. Vale esclarecer que quase a totalidade dos veículos produzidos e até importados para o Brasil possuem tecnologia *Flex Fuel*, a qual possui uma central de injeção que monitora a todo o momento o combustível que está sendo queimado nas câmaras de combustão. Assim, a proposta de MDL foi justamente o desenvolvimento de um sistema de monitoramento ligado à central de injeção que pudesse quantificar a utilização do etanol. Nas aquisições e medições realizadas em nosso trabalho, o MDL foi somente uma extensão da memória da central de injeção que comprovou e quantificou a utilização de etanol. Ou seja, o monitoramento do uso do etanol é viável a partir da aquisição dos dados já presentes na própria central de injeção dos veículos com tecnologia *Flex Fuel*, bastando a simples quantificação do uso do etanol combustível em determinado período de tempo..

Atualmente, os créditos de carbono não possuem grande valor monetário, podendo não ser economicamente viável toda uma transcrição para requerê-los sob um único veículo. Porém lançou-se no presente trabalho a ideia de empresas de grande porte, como montadoras e concessionárias de veículos, obterem referido crédito em substituição a seus clientes e consumidores, alcançando, além do crédito de carbono propriamente dito, um ganho na imagem da empresa e um ganho ambiental, já que a utilização do etanol combustível contribui muito para redução dos GEE. Ou seja, o presente estudo pode contribuir para mitigação dos GEE se houver uma política por parte de montadoras e concessionárias de veículos para instigar seus consumidores na utilização do etanol combustível, podendo, por meio de um MDL, buscar compensação através da aquisição de créditos de carbono, gerando ainda a imagem de uma empresa ambientalmente correta e preocupada com o aquecimento global.

Apesar de não ser objetivo traçado no presente trabalho, merece posteriormente uma análise mais aprofundada a questão da possibilidade da geração de créditos de carbono pelo governo brasileiro, advindos da adição de etanol anidro à gasolina. Os MDL podem estar dentro de uma categoria vinculada a um projeto como pautado anteriormente no escopo do nosso trabalho, ou em um programa de atividades. No caso do MDL estar vinculado a um programa de atividades, esta deve estar dentro de uma ação voluntária coordenada por entidade pública ou privada que implemente políticas ou medidas de redução dos GEE, o que nos parece

ser o caso da Lei 13.033/14, que alterou a Lei 8.723/93, aumentando a adição de etanol à gasolina.

Baseado na situação em que tínhamos, até o meio do ano de 2015, 25% de etanol anidro adicionado à gasolina e passando para a edição de um marco regulatório, a Lei 13.033/2014, que altera a adição de etanol à gasolina para 27,5%, vemos que há uma mitigação e consequente redução dos GEE, devido à adição proporcional de etanol à gasolina, vindo a contribuir para a redução do aquecimento global, podendo ser tema de análise e discussões futuras.

6 –REFERÊNCIAS

ABRAHAM et al. *The Evolution of Flex-Fuel Technology in Brazil: The Bosch Case*. São Paulo, 2010.

ALMEIDA, J. R. *Álcool e Destilaria*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” (ESALQ). Universidade de São Paulo (USP).2005.

ALVARENGA, R.A.F. *Environmental sustainability of biobased products: New assessment methods and case studies*. PhD thesis. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium, 2013.

ANDRADE, S. J. *Investigação sobre a composição química e avaliação da mutagenicidade do material particulado atmosférico sob a influência da fuligem da queima de cana-de-açúcar*. Tese (doutorado em Química) – Instituto de Química – Universidade Estadual Paulista/UNESP, Araraquara, 2004.

ARBEX, M. A. Queima da biomassa e os efeitos sobre a saúde. Dez, 2004.Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132004000200015> Acesso em: julho, 2016.

ASSIS, W.F.T.;ZUCARELLI, M.C. *Despoluindo Incertezas - Impactos Territoriais da Expansão de Agrocombustíveis e Perspectivas para uma Produção Sustentável*. Editora Belo Horizonte, 2007.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – *BEN 2002* – Ministério de Minas e Energia (MME), 2002.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL BRASILEIRO. Ministério das Minas e Energia. **BEN**. Disponível em:
<<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 26 fev. 2016

BODDEY, R.M.; POLIDORO, J.C; RESENDE, A.S; ALVES, B. J.R; URQUIAGA. S. *Use of the Natural abundance technique for the qualification of the contribution of N₂ fixation to sugar cane and other grasses.* Australian Journal os PlantPhysilogy, Melboume, v.28 p. 889-895, 2001.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais.* São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1979.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Brasil lidera mercado de créditos de carbono.* Disponível em:

<http://www.conpet.gov.br/Kyoto/noticia.php?segmento=corporativo&id_noticia=804>. Acesso em: 14 set. 2015

BRAZ, Mario Sergio Araujo. *Os Mecanismos de Cooperação Internacional Para Redução de Emissões Sob o Protocolo de Quioto.* Brasília, 2003.p. 20.

CANA-DE-AÇÚCAR no Brasil. Disponível em:

<http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_cana.asp>. Acesso em: 24 jun. 2016.

CETESB, São Paulo. *Decisão de Diretoria n° 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.* Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo,03 dez. 2005.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Mudanças do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.* Brasília 2008. Disponível em:

<<http://www.cgee.org.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=TccJoG9cidN6Zf-vIssL-cyjOYR5JLol1zYeZiGaz2s,>>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

ENTIDADE / AUTOR. Comissão Interministerial De Mudança Global Do Clima Cimgc. Disponível em:

<<http://www.mcti.gov.br/documents/10179/546721/Comiss%C3%A3o+Interministerial+de+Mudan%C3%A7a+Global+do+Clima+-+Relat%C3%B3rio+de+Atividades+2013-2014/a8c22739-976d-4c91-bcb2-af74bacbc2ac>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – São Paulo (CETESB), *Relatório da Qualidade do Ar – 2012*. São Paulo, 2013.

CRUZ, R.L. *Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea*. São Carlos: USP/EESC. Dissertação de Mestrado. 1991.

DE FIGUEIREDO, E. B.; LA SCALA Jr., N. *Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil*. *Agriculture Ecosystems & Environment*, Amsterdam, 2011v. 141, n. 1-2, p. 77-85, 2011.

DICKINSON, Paul. *Carbon Disclosure Project*. São Paulo, 2007. p. 79.

DUFEY, A.; PRESSER, M. F; ALMEIDA, L. T. *Capacity building in trade and environment in the sugar/bioethanol industry in Brazil*. Pesquisa conduzida pelo Instituto Internacional para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (IIED). Londres, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção agrícola no Brasil*. Assad, E., Pinto, H.S., 2008, 84p.

EMBRAPA. *Mitigação das Emissões dos Gases do Efeito Estufa pelo uso do etanol da Cana-de-açúcar no Brasil*. Seropédica. Rio de Janeiro, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Potencial de Redução de Emissões de CO₂ em Projetos de Produção e Uso de Biocombustíveis*. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos_29/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2016.

FCCC/AGBM. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *Proposed Elements of a Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Presented By Brazil In Response To The Berlin Mandate*. Berlim, 1997.

FIC. Distribuidora de Petróleo. *Teor do álcool hidratado combustível*. Disponível em: <<http://www.ficpetroleo.com.br/index.html>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

IAC. Instituto Agrônomo de Campinas. São Paulo, 2015. Centro da Cana. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

INMETRO – Programa Brasileiro De Etiquetagem PBE. *Tabelas de Consumo/Eficiência Energética (Veículos Automotores Leves)*. 2014

INNOCENTINI, A. P. *Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em água para consumo humano na cidade de Araraquara*. Tese (doutorado em Química) – Instituto de Química – Universidade Estadual Paulista/UNESP, Araraquara, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories -*The Reference Manual*– Volume 3 – Energy. 1996. p 81-94. Disponível em:

<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref5.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

IPCC – International Panel on Climate Change. *Climate Change: The Scientific Basis*. 2007.

MACEDO, I.C. et al. *Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2004.

MACEDO, I. C. *The sugar cane agro-industry – its contribution to reducing CO2 emissions in Brazil, Biomass and Bioenergy*. Campinas SP.1992.p. 77-80.

MACEDO, I. C. *Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and use in Brazil (1996)*.Piracicaba.,1997.p. 77-81.

MACEDO, I.C. *Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil*. Biomass and Bioenergy, v14,Oxford, , 1998. p. 77-81.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, E. A. R. Greenhouse gases emissions in the production and use of etanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020.In: *Biomass and Bioenergy*, v. 32 Oxford, , 2008. p. 582-595. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/630482/1/cit027.pdf>>. Acesso em:24 jun. 2016.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. *Status dos projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo (2014)*. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0232/232099.pdf>.Acesso em: 24 jun. 2016

NÁPRAVNÍK FILHO, Luciano Ângelo Francisco Karel. *O Mercado de Carbono: Um Promissor Espaço de Negócios Internacionais*. Vale do Canela, 2006. 12p.

OMETTO, Aldo Roberto. *Avaliação do Ciclo de Vida do Álcool Etílico Hidratado Combustível pelos Métodos Edip, Exergia E Emergia*. Tese de doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

PASQUALETTO Antônio; GOMES Elizabete Fernandes. *O Bagaço da Cana-de-açúcar como Fonte de Créditos de Carbono. O Caso da Usina Jalles Machado S/A. De Goianésia-GO*. Departamento de Engenharia. Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2006,

PIACENTE, F. J. *Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. *Sequestro de carbono: Uma experiência concreta*. 2.ed. Palmas: Instituto Ecológica, 2001. 178 p.

ROCHA, Marcelo Theoto. *Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT*. Piracicaba, 2003. 196 p.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. *Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data*. Remote Sensing, Basel, v. 2, n. 4, 2010.p. 1057-1076.

SANTO Z.N.E; ALMEIDA L.T. Impactos Sócio Ambientais de uma Commodity em Ascensão. São Paulo 2007. Disponível em:

<http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/me sa2/trabalhos/etanol_impactos_socio_ambientais.pdf.> Acesso em QUE DIA? jul. 2016.

SEABRA Joaquim Eugênio Abel, *Avaliação Técnico-econômica de Opções para Aproveitamento Integral da Biomassa de Cana no Brasil*. Tese doutorado da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2008.

SILVA, L. E. S e. *As queimadas nos Canaviais. O Superior Tribunal de Justiça, o art. 27, parágrafo único, do Código Florestal e o princípio do desenvolvimento sustentável*. Teresina, 2010.

SZMRECSÁNYI, T. *Tecnologia e degradação ambiental: O caso da Agroindústria canavieira no Estado de São Paulo*. Informações Econômicas, v.24, n. 10,1994.p.73-81..

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) *Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, Held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001*.

UNFCCC / CIMGC. *Status dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil 2014*. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/DOE/scopelst.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

UNICA. União da Agroindústria Canavieira. *Produção e uso do etanol combustível no Brasil*. São Paulo. 2007a.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis – A questão do balanço energético. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, DF, v. 14, 2005.p. 42-146.

VALENTE, Helen Gaudio. *Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): ratificação do protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono*. Rio Grande do Sul, 2007. p. 85.

VILLELA, A. C. S., *Desempenho e Combustão de Etanol Anidro e Hidratado em Motor Multicombustível*. Tese de Mestrado, Engenharia Mecânica, PUC-Rio. Rio de Janeiro, , 2010.

ANEXO 01 – PROTOCOLO DE QUIOTO

As Partes Anexo I são aquelas que têm metas de redução em relação ao Protocolo de Kyoto. São divididos em dois sub-grupos:

- Membros da OECD, aqueles países que necessitam diminuir suas emissões e portanto podem tornar-se compradores de créditos provenientes dos mecanismos de flexibilização, como a Alemanha, Japão, Holanda, etc.
- os países que estão em transição econômica (antigo bloco soviético) e por isso podem ser anfitriões de projetos do tipo implementação conjunta, como a Ucrânia, Rússia, Romênia, etc.

- | | |
|---|---|
| •  Alemanha | •  Austrália |
| •  Áustria | •  Bielorrússia (1) |
| •  Bélgica | •  Bulgária (1) |
| •  Canadá | •  Croácia (1) (2) |
| •  Dinamarca | •  Eslováquia (1) (2) |
| •  Eslovênia (2) | •  Espanha |
| •  Estados Unidos | •  Estônia (1) |
| •  Rússia (1) | •  Islândia |
| •  França | •  Grécia |
| •  Hungria (1) | •  Irlanda |
| •  Itália | •  Japão |
| •  Letônia (1) | •  Liechtenstein] (2) |
| •  Lituânia (1) | •  Luxemburgo |
| •  Mônaco (2) | •  Noruega |
| •  Nova Zelândia | •  Países Baixos |
| •  Polónia (1) | •  Portugal |
| •  Reino Unido | •  República Checa (1) (2) |
| •  Romênia (1) | •  Suécia |
| •  Suíça | •  Turquia |
| •  Ucrânia (1) | •  União Europeia |

(1) Países em processo de transição para uma economia de mercado.

(2) Países que passaram a fazer parte do Anexo I mediante emenda que entrou em vigor no dia 13 de agosto de 1998, em conformidade com a decisão 4/CP.3 adotada na COP 3.

Os países em desenvolvimento são chamados países do "não Anexo I" e podem ser anfitriões de projetos de [mecanismo de desenvolvimento limpo](#).

ANEXO 02

REPORTAGEM - ETANOL GERA CRÉDITO DE CARBONO

Uso de etanol em vez de gasolina no Brasil gera primeiros créditos de carbono

Por Marcelo Teixeira.

O ESTADÃO / SP.

Sexta-feira, 4 de julho de 2014.

SÃO PAULO – Um programa para a substituição de gasolina por etanol em frotas corporativas de veículos no Brasil conseguiu aprovação para emitir créditos de carbono, a primeira vez que esse tipo de troca de combustível gera reduções de emissões negociáveis.

Segundo a empresa que lidera o programa, um lote inicial de 2.195 créditos voluntários de carbono já foi emitido pela norte-americana Verified Carbon Standard (VCS), o maior programa global de redução de emissões de gases estufa no mercado voluntário.

Um segundo lote de aproximadamente 6.000 créditos deverá ser lançado em breve, disse a Ecofrotas, a maior gestora de frotas corporativas do Brasil, com cerca de 700.000 carros.

O VCS é uma organização sem fins lucrativos que concede créditos de carbono para projetos voluntários que comprovadamente reduzem emissões de gases do aquecimento global. No Brasil, um país onde mais de 60 por cento dos carros podem rodar com etanol, a iniciativa da Ecofrotas pode oferecer a empresas uma opção para reduzir suas pegadas de carbono, ou uma forma de gerar receita extra com a venda dos créditos, ainda que no momento essa última alternativa seja pouco provável de ocorrer, devido aos baixos preços do carbono. "Foi um processo complexo, porque não existiam metodologias aprovadas para receber projetos que pudessem gerar créditos a partir da troca de gasolina por etanol", afirmou Rodrigo Somogyi, gerente de Inovação na Ecofrotas. "Nós tivemos que criar a metodologia e submetê-la para aprovação no VCS antes de poder ingressar com nosso projeto", afirmou. Projetos de geração de créditos de carbono a partir de troca de combustível são comuns no setor de energia, quando uma usina, por exemplo, substitui um combustível fóssil como carvão por biomassa ou outra fonte renovável. Mas fazer o mesmo com a troca de derivados de petróleo por biocombustíveis em veículos era algo mais polêmico, devido a críticas de que alguns combustíveis renováveis não teriam credenciais tão verdes, por algumas vezes utilizarem muita energia em

sua produção ou por gerarem impactos no uso do solo devido ao aumento do cultivo das matérias-primas.

A empresa brasileira à frente do programa, auxiliada por sua parceira, a consultoria paulista Way Carbon, incluiu dados de governos como os dos Estados Unidos e da União Europeia para justificar o programa. **Uma análise de 2010 da EPA, a agência de proteção ambiental norte-americana, disse que a substituição da gasolina pelo etanol de cana-de-açúcar poderia reduzir emissões de dióxido de carbono (CO₂) em 61 por cento. Uma diretiva da União Europeia disse que essa troca cortaria emissões de CO₂ em 71 por cento [grifo nosso].**

Rodrigo Somogyi disse que cinco empresas com frotas gerenciadas pela Ecofrotas dividirão os créditos neste momento. Pelo menos mais 10 empresas já manifestaram interesse em aderir ao programa. Apenas cerca de 2.000 carros foram incluídos na primeira fase da iniciativa, mas segundo Somogyi cerca de 400.000 veículos dos 700.000 que a empresa gerencia são flex e poderiam operar exclusivamente com etanol, também se credenciando para receber créditos.

Para garantir que as frotas rodem apenas com etanol, **as empresas usam um software que bloqueia pagamentos com cartões tipo vale-combustível quando o condutor tenta abastecer com gasolina [grifo nosso].**

ANEXO 03

REGULAMENTAÇÕES NA PRODUÇÃO DO ETANOL E CONSEQUENTE REDUÇÃO DOS GEE.

Na produção do bioetanol, as emissões de impacto local que preocupam estão associadas, essencialmente, à queima da palha da cana pré-colheita e às emissões nas chaminés das caldeiras.

A queima da palha aumenta a produtividade da colheita, mas a fuligem que produz é um problema ambiental que afeta principalmente as cidades localizadas nas regiões canavieiras além de elevar as emissões de CO₂. Por isso, há uma forte disposição dos órgãos públicos brasileiros para restringir essa prática.

Como melhor exemplo dessa postura se encontra em São Paulo, onde a Lei Estadual 11.241, de 2002, estabeleceu um cronograma para a colheita da cana crua em todas as áreas mecanizáveis até 2021, permitindo que as áreas restantes e menores do que 150 hectares efetuem queimadas até 2031. Por pressões de entidades ambientalistas e do Ministério Público, um protocolo entre o governo estadual paulista e a agroindústria canvieira antecipou esses prazos para 2014 e 2017, respectivamente, com restrições adicionais para queima em áreas de expansão.

Nesse sentido, a autorização para a operação das 56 novas unidades produtoras de etanol em São Paulo, a partir de 2008, foi condicionada à adoção integral da colheita de cana crua. Os resultados desse processo têm sido evidenciados mediante sensoriamento remoto por satélite e mostram que a colheita de cana sem queimar alcançou 47% da área colhida em São Paulo na safra 2007/2008, evitando a emissão de 3.900 toneladas de material particulado. CETESB (2008).

Em outros estados, como Goiás e Mato Grosso, observam-se iniciativas similares, que estabelecem cronogramas para eliminação das queimadas, mas ainda sem resultados medidos. Além das questões ambientais, também a possibilidade de utilizar a energia da palha para produção de energia elétrica é um fator de estímulo para a adoção da colheita de cana crua.

Com a introdução de caldeiras modernas nas usinas, com menor excesso de ar e queimando bagaço sob temperaturas de chama mais elevadas, os teores de óxidos de nitrogênio nos gases de chaminé atingiram níveis similares aos observados em outros sistemas térmicos de potência e passaram a ser controladas pelos órgãos ambientais, de

acordo com a legislação própria, que estabelece limites e penalidades para tais emissões (Resolução Conama 382, de 2006).

Nesse contexto, as emissões das caldeiras podem e, efetivamente, têm sido abatidas mediante sistemas convencionais de limpeza dos gases de chaminé, com resultados positivos, por isso não parecem ser para o caso da agroindústria do bioetanol, um problema relevante.