

---

---

# O BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA VEICULAR BRASILEIRA

---

---

Carolina Parada\*

Mattheus Fabiani\*

Sílvia Maria Stortini González Velázquez\*

## Resumo

Este artigo visa apresentar a situação atual do biodiesel na matriz energética brasileira, estudar a viabilidade de expansão da sua participação, os testes e ensaios para validação do uso da mistura B5 em motores e veículos, o processo produtivo do biodiesel, os desafios existentes, a conciliação das preocupações ambientais com a intensificação das culturas de oleaginosas, as espécies utilizadas como matéria-prima, os aspectos e interesses econômicos envolvidos, as rotas tecnológicas, bem como discutir a eficácia dos programas governamentais. São construídos cenários para avaliar os efeitos do uso gradativo do biodiesel como combustível da frota pública da cidade de São Paulo.

**Palavras-chave:** Biodiesel, impactos ambientais, óleos vegetais.

---

\* Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

## 1 INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível de origem agrícola, oriundo dos óleos vegetais, e representa uma alternativa para substituição ao óleo diesel em motores de ignição por compressão. A sua utilização foi testada, pela primeira vez, em meados do século XIX, gerando resultados aceitáveis nos motores (NASCIMENTO; COSTA NETO; MAZZUCO, 2001).

O uso de biodiesel como combustível, nos últimos anos, vem ascendendo de maneira rápida no mundo todo, uma vez que a cadeia de produção desse biocombustível tem perspectivas promissoras para diversos setores do país, tais como econômico, ambiental, social e tecnológico.

O biodiesel aumenta a oferta de trabalho no campo, gera oportunidades de emprego e valoriza não apenas a mão de obra rural, mas também, no setor industrial, a mão de obra especializada na produção do biocombustível (CHING; RODRIGUES, 2010). No aspecto ambiental, a contribuição é significativa, já que a utilização do biodiesel induz a uma grande diminuição de níveis de poluição ambiental, emitindo índices baixos de particulados, como HC, CO, NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub> (BRANCO; WALSH, 2005).

O Brasil consome anualmente cerca de 40 milhões de toneladas de óleo diesel (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2012). Assim, com a ampliação da utilização do biodiesel na matriz de transportes, a economia obtida com a diminuição da importação de petróleo seria expressiva, podendo inclusive reduzir o déficit da balança de pagamentos brasileira.

A elevação do percentual obrigatório de biodiesel, por determinação do governo, para 5% (B5), diminuiu consideravelmente a importação de óleo diesel pelo país em 2009, levando a uma economia de US\$ 1,3 bilhão (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2012).

Mesmo com o importante passo da definição do marco regulatório, muitos pontos precisam ser debatidos, principalmente questões relacionadas à produção e ao uso do biodiesel, levando em conta que as dimensões territoriais do Brasil implicam diferentes condições climáticas, de cultivo, diferentes fontes de matérias-primas e diferentes rotas tecnológicas para a produção do biodiesel (rota metilica ou etilica com catalisadores).

## 2 MATRIZ ENERGÉTICA VEICULAR BRASILEIRA

A matriz energética brasileira tem a vantagem de apresentar aproximadamente 45% de energias renováveis, sendo uma das matrizes mais limpas do mundo (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010). Entretanto, com relação à matriz veicular brasileira, há grande trabalho a ser realizado.

Pode-se observar a substituição gradativa da gasolina pelo etanol, devido aos veículos bicomcombustíveis, mas poucas são as opções para a substituição do óleo diesel, combustível mais utilizado na matriz veicular brasileira, como apresentado a seguir.

### 2.1 Combustíveis em uso

No Brasil, cerca de 48,9 milhões de toneladas de petróleo se destinaram ao transporte, representando 51,2% do consumo nacional dessa fonte de energia (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010).

Só o transporte rodoviário consumiu 92,2% da energia do setor de transportes, e desse total, 87% foram derivados do petróleo (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010).

Atualmente, no Brasil, os principais combustíveis utilizados em veículos automotores e os mais representativos na matriz veicular são o diesel (51%), a gasolina (25%), o etanol (21%) e o gás natural veicular (3%) (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010).

### 2.2 Combustíveis alternativos

Há também projetos em conjunto com o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (Emtu), governos dos Estados, universidades, institutos de tecnologia e iniciativa privada para o desenvolvimento de novas tecnologias para utilização de combustíveis alternativos, em uma primeira etapa, em frotas de ônibus de determinadas linhas de regiões metropolitanas, como São Paulo e Rio de Janeiro.

Entre eles, os principais projetos são: o ônibus movido a etanol aditivado, a diesel de cana-de-açúcar e a hidrogênio.

Todos eles têm como objetivo comum promover a substituição do diesel oriundo do petróleo no transporte público, visando à redução da poluição atmosférica nos

grandes centros urbanos do Brasil e, em uma escala maior, colaborando com a diminuição do aquecimento global.

---

## 3 PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL

As diretrizes do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) são incentivar a produção e o uso de biodiesel de forma sustentável técnica e economicamente, viabilizar a inclusão social e o desenvolvimento regional, garantir preços competitivos, qualidade e suprimento, além de produzir o biodiesel com diferentes fontes oleaginosas e em diferentes regiões. No PNPB, há três diretrizes principais: ambiental, social e mercado (NASCIMENTO; COSTA NETO; MAZZUCO, 2001).

A princípio existia uma incerteza se a produção brasileira teria ou não como desenvolver a capacidade de produção do biodiesel e o processamento das matérias-primas. No entanto, teve-se a confirmação do sucesso por meio da resposta positiva da indústria para atender à demanda do mercado que até motivou o governo a antecipar a implementação da obrigatoriedade das misturas B2, B3, B4 e B5 (CHING; RODRIGUES, 2010).

A produção do biodiesel evoluiu de 736 m<sup>3</sup>, em 2005, ano da implementação do programa, basicamente produzido pela empresa Agropalma, em Belém do Pará, para 2.400.000 m<sup>3</sup>, em 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2012).

O marco regulatório é formado por atos legais que tratam dos percentuais de mistura do biodiesel ao diesel, da forma de utilização e do regime tributário.

O financiamento do programa é assegurado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que apoia projetos, produção do biodiesel e produção da matéria-prima para o biodiesel pela agricultura familiar (“O BIODIESEL E SUA CONTRIBUIÇÃO...”, 2010).

### 3.1 Matérias-primas

O biodiesel pode ser obtido de matérias-primas de origem vegetal e animal. As matérias-primas vegetais são obtidas de óleos vegetais: mamona, soja, colza (canola), palma, girassol, amendoim, dendê, babaçu, algodão, pinhão-manso, gergelim, entre outras. As matérias-primas animais são derivadas de sebo bovino, suíno e de aves (CHING; RODRIGUES, 2010).

A produção mundial das oleaginosas tem evoluído nos últimos anos, e destaca-se a produção da palma e da soja. Inicialmente, a soja foi a mais incentivada e defendida no processo de produção, por diversos fatores que facilitam a sua utilização. Assim, é importante ressaltar que a viabilização de projetos, a inclusão da agricultura familiar e auxílios do governo a partir da isenção total de impostos para o biodiesel são fatores que incentivariam as usinas a se interessar pela mudança da soja, até mesmo para que haja competitividade da soja em relação às matérias-primas alternativas e o preço se torne mais atrativo para o mercado de produção e para a utilização do biodiesel.

Nos anos 2009/2010, a demanda mundial forçou a praticamente dobrar a produção de soja. Diante desse cenário, surge a necessidade do incentivo para a diversidade de matérias-primas. Deve-se considerar o aumento da demanda de óleos vegetais para fins de produção de biodiesel, com uma taxa de crescimento maior do que para outros fins.

### *3.1.1 Óleos vegetais utilizados*

No Brasil, a soja é a oleaginosa mais utilizada para a produção de biodiesel, responsável por 70% a 80% da produção (CHING; RODRIGUES, 2010).

Nesse contexto, o óleo de soja se caracteriza por ser a principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel e por classificar o Brasil como o segundo maior produtor de óleo de soja.

Atualmente, o Brasil, além de ser o segundo maior produtor e processador mundial de soja em grão, é o segundo exportador mundial de soja em farelo e o terceiro maior exportador de óleo. É possível então entender que não existem restrições de áreas para a expansão da soja no Brasil. A safra de 2009/2010 foi de aproximadamente 6 milhões de toneladas de óleo de soja, das quais 1,46 milhão de toneladas foram exportadas como óleo bruto. Do consumo interno de óleo de soja de 4,52 milhões de toneladas, 25% foram destinados para o mercado de biodiesel, ficando o volume restante para os outros mercados (“O BIODIESEL E SUA CONTRIBUIÇÃO...”, 2010).

### *3.1.2 Óleos vegetais disponíveis*

Das principais matérias-primas potenciais para diversificar a matriz produtiva do biodiesel, destacam-se: a palma (dendê), de cultivo perene, com vida econômica entre 20 e 30 anos; o amendoim, leguminosa de ciclo curto, utilizada em áreas de rotação de lavoura; a canola, oleaginosa de inverno; o girassol, oleaginosa anual que se destaca por ter maior resistência à seca, ao frio e ao calor; a mamona, oleaginosa bem adaptada à região semiárida; o sebo bovino, subproduto da produção pecuária; além do caroço de algodão, com exigências hídricas comparativamente pequenas (“O BIODIESEL E SUA CONTRIBUIÇÃO...”, 2010).

Além das fontes de óleo citadas, há grande gama de culturas promissoras, alvo de grandes investimentos em pesquisas atuais. Entre tais culturas, destacam-se o pinhão-manso, o gergelim, o babaçu, além de outras palmáceas. O biodiesel pode ser produzido também do óleo de pescado (constitui um resíduo da fabricação de farinha de pescado utilizada nas rações animais) ou do óleo utilizado em frituras.

Cada matéria-prima tem sua particularidade de aproveitamento da porcentagem de óleo em relação à região de plantio e às condições de técnicas de cultivo, tecnologias de processo, clima e solo. O Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) é responsável por elaborar o zoneamento agrícola de risco, que explicita as condições de cada região para cultivo das respectivas oleaginosas para o melhor aproveitamento do cultivo, período de semeaduras, bem como o solo e o clima.

Essa diversificação das matérias-primas é importante não somente pelo evento de possibilitar um mercado mais seguro, mas também por aproveitar cada diferencial que a constituição, o processo de produção, a região produtora, a capacidade produtiva e o tipo de cultura proporcionam como possíveis fontes na produção de biodiesel.

### 3.2 Produção de biodiesel

Existem duas tecnologias de obtenção do biodiesel: a transesterificação e o craqueamento.

A tecnologia para a produção de biodiesel predominante no mundo, inclusive no Brasil, é a transesterificação metílica, em que os óleos vegetais ou o sebo animal são misturados com metanol que, associados a um catalisador, produzem biodiesel. A opção pelo metanol, principalmente em outros países, se deu pelo alto custo do etanol (CHING; RODRIGUES, 2010).

O processo se inicia com a etapa de pré-tratamento da matéria-prima (óleo de dendê, óleo de soja, óleo de girassol, gordura animal, entre outros).

No pré-tratamento, a degomagem é realizada em óleos com baixo teor de fosfatídeos e consiste no refino físico, como no caso do óleo de palma. Em óleos com alto teor, como os óleos de soja e canola, estes são neutralizados pelo processo químico (DUARTE, 2010).

A próxima etapa define a unidade de processamento que é composta por quatro setores: transesterificação, recuperação da glicerina, recuperação do álcool e recuperação da água.

A transesterificação é o setor que condiciona o funcionamento do processo, em que ocorre a reação química entre o óleo e o álcool (etanol ou metanol) devido à ação de um catalisador (metilato de sódio ou soda cáustica), gerando o éster etílico ou metílico e glicerol. A transesterificação é o processo de separação do glicerol do óleo vegetal, e a reação pode ocorrer em etapas, por processo contínuo ou em bateladas.

Da transesterificação resulta como produto final da reação o éster (etílico ou metílico), e, em seguida, o decantador ou separador centrífugo separa o éster da glicerina por diferença de densidade.

Após a retirada da glicerina, inicia-se a etapa de separação de fases em que o éster é lavado com água num misturador para diluir o ácido e o catalisador. A seguir, por decantação, a água é drenada por ser mais densa. O éster lavado é purificado para remover a umidade e os traços de metanol, resfriado para precipitar os esteróis glicosados e novamente filtrado. Tem-se assim o biodiesel.

### 3.3 Panorama do biodiesel no Brasil

O governo federal lançou, em dezembro de 2004, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), como tentativa de organizar a cadeia produtiva, definir as linhas de financiamento e estruturar a base tecnológica.

A Lei n. 11.097/2005 foi responsável por introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira, ao determinar a mistura obrigatória de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercializado (B2) em qualquer parte do território nacional a partir de 2008, porcentagem que foi estendida posteriormente para 5% (B5) até 2013, sendo atendida três anos antes, em 1º de janeiro de 2010 (AMARAL, 2009).

Agregado ao PNPB, o governo federal lançou o Selo Combustível Social (SCS), um conjunto de medidas que visa incentivar a inclusão social da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel. Uma dessas medidas é a concessão de melhores condições de financiamento pelo BNDES e da desoneração de alguns tributos às empresas que promovam programas e projetos sociais, e que efetivamente se enquadrem no perfil “socialmente responsável” definido pelo governo (FERREIRA; CRISTO, 2006).

Com isso, o governo federal espera a inclusão de aproximadamente 250 mil famílias no meio rural. Em troca, as empresas devem garantir a compra da matéria-prima de produtores familiares, preestabelecer os preços dessa compra e oferecer assistência, capacitação técnica e segurança aos agricultores familiares (CHING; RODRIGUES, 2010).

As diretrizes do PNPB são incentivar a produção e o uso de biodiesel de forma sustentável técnica e economicamente, viabilizar a inclusão social e o desenvolvimento regional, garantir preços competitivos, qualidade e suprimento, além de produzir o biodiesel com diferentes fontes oleaginosas e em diferentes regiões. No PNPB, há três diretrizes principais: ambiental, social e mercado (CHING, RODRIGUES, 2010).

Havia a incerteza se a indústria brasileira teria ou não condições de desenvolver a capacidade de produção do biodiesel e o processamento das matérias-primas. A confirmação do sucesso veio por meio da resposta positiva da indústria em atender à demanda do mercado, fato que motivou o governo a antecipar a implementação da

obrigatoriedade das misturas B2, B3, B4 e B5 (“O BIODIESEL E SUA CONTRIBUIÇÃO...”, 2010).

Atualmente, o Brasil possui 67 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o que corresponde a uma capacidade total autorizada de 17.712,95 m<sup>3</sup>/dia. Na área de pesquisa, são 39 laboratórios cadastrados que exercem um controle analítico confiável e rastreável por meio de testes e ensaios e que permitem que a agência monitore a qualidade do biodiesel comercializado no país (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2012).

### 3.4 Aspectos ambientais

A redução de emissão de gases poluentes é um dos pontos positivos para o uso do biodiesel, pois sua utilização resultaria em uma diminuição significativa do número de internações devido a problemas respiratórios e evitaria quase duas mortes por dia, nas seis maiores capitais brasileiras.

A maior utilização do combustível diesel é no transporte de cargas e pessoas, e a poluição por ele causada está concentrada principalmente em metrópoles e grandes cidades. Com a utilização do biodiesel, a qualidade de vida da população é superior por causa da redução das emissões de poluentes atmosféricos e até mesmo dos gastos governamentais com a saúde da população. A preocupação com o meio ambiente é um dos principais fatores para que o incentivo à substituição de fontes fósseis por renováveis seja deferido e a participação do biodiesel torne-se essencial na matriz energética brasileira.

Entre os principais poluentes gerados na queima do diesel fóssil, encontram-se material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e emissões de oxidantes fotoquímicos, como o ozônio (O<sub>3</sub>).

Na maioria das emissões, ocorreria uma significativa diminuição caso fosse utilizado o biodiesel B20 ou o biodiesel B10 em substituição ao diesel fóssil, com exceção dos óxidos de nitrogênio, que sofreriam aumento na sua emissão, como acontece na queima de toda biomassa que, além do N<sub>2</sub> do comburente (ar), carrega aquele que está presente no fertilizante e é absorvido por ela durante seu crescimento.

### 3.5 Testes e ensaios para validação do uso da mistura B5 em motores e veículos

Sob a coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e com a participação do Ministério de Minas e Energia (MME), do Ministério do Desenvolvimento,

Indústria e Comércio Exterior (MDIC), da ANP, do Banco BNDES, de fabricantes e institutos de pesquisa, formatou-se, em 2004, a estrutura do Programa de Testes e Ensaio em Motores (ANDRADE; MENEZES; DUARTE FILHO, 2009).

A realização de testes e ensaios em motores foi fundamental para a validação do uso da mistura B5, com vistas a assegurar ao consumidor final a manutenção da garantia de veículos e equipamentos. O programa foi planejado para contar com a realização tanto de ensaios em bancada (dinamômetros) como de testes em campo (frota veicular dedicada). Na etapa de validação da mistura B5, utilizou-se biodiesel de soja e mamona como combustível.

Para o desenvolvimento da metodologia dos ensaios, foi adotado o método de análise comparativa entre os veículos operados com as misturas B5 e aqueles operados com óleo diesel comercial.

As curvas de torque e de potência dos motores que utilizaram as misturas B5 ficaram dentro dos limites especificados. Os elastômeros presentes nos motores, como tubos, mangueiras e vedantes, indicaram comportamento normal, sem ressecamento ou deformação com o uso das misturas B5. Os sistemas de injeção de combustível dos motores e seus componentes que operaram com B5 não apresentaram diferenças nas avaliações funcionais e de durabilidade. No sistema de filtragem de combustível, os componentes apresentaram a mesma eficiência e desempenho dos componentes com o uso do óleo diesel (ANDRADE; MENEZES; DUARTE FILHO, 2009).

Para as misturas B5 testadas em bancada, os resultados das emissões medidas foram muito satisfatórios, com redução da emissão de CO (7%), HC (5%), material particulado (10%) e acréscimo de NOx (4%), em média, reforçando o que é sempre esperado no uso de biocombustíveis provenientes das oleaginosas, devido ao N<sub>2</sub> do fertilizante, somado ao N<sub>2</sub> do ar utilizado na combustão.

As análises dos componentes móveis internos dos motores indicam que o nível de desgastes está aceitável para a quilometragem percorrida pelos veículos.

O consumo de combustível com as misturas B5 foi, em média, superior ao consumo registrado com a utilização do óleo diesel, uma vez que o biodiesel tem menor conteúdo energético (poder calorífico) (ANDRADE; MENEZES; DUARTE FILHO, 2009).

O biodiesel, entretanto, constitui uma alternativa aos combustíveis fósseis, não renováveis, utilizados atualmente com índices inaceitáveis de emissões. É um tema de extrema relevância no contexto mundial e, a cada dia, se torna um assunto de maior importância e motiva a discussão por causa da necessidade crescente de redução dos gases poluentes lançados diariamente na atmosfera por veículos automotores.

São Paulo foi escolhida para o estudo, a seguir apresentado, pelo fato de ser a cidade a ter o maior número de veículos em circulação do país, o que provoca elevado índice de poluição atmosférica.

## 4 CENÁRIOS PARA O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO EM SÃO PAULO

No Brasil, o sistema de transporte coletivo urbano atende diariamente 59 milhões de pessoas, representando aproximadamente 60% dos deslocamentos mecanizados, e movimentada 1% do PIB, empregando 500 mil pessoas. Cerca de 90% dessa demanda é atendida por via rodoviária, por meio de uma frota de 95 mil ônibus, e a quase totalidade destes é movida a óleo diesel (SÃO PAULO TRANSPORTE, 2010).

Aferições elaboradas a partir de dados da região metropolitana de São Paulo (RMSP) indicam que os veículos movidos a diesel são responsáveis por 32% das emissões veiculares de HC, 25% de CO, 32% de particulados e 48 % de SO<sub>x</sub> (BRANCO; WALSH, 2005).

Nesse contexto, foi desenvolvido um estudo para avaliar a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na cidade de São Paulo, simulando a substituição gradativa do óleo diesel utilizado atualmente (B5), com a porcentagem de 5% de biodiesel (linha de base) definido por lei, por óleo diesel com 20% de biodiesel (B20). Com base nos resultados da redução das emissões, estimou-se a receita a ser gerada pela comercialização dos créditos de carbono, com base no Protocolo de Quioto, a partir do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), que é a maior fonte de projetos de compensação de emissão de GEE.

A aprovação dos projetos é condicionada ao atendimento do pré-requisito de adicionalidade, que pressupõe que o projeto não seja a alternativa econômica mais viável. Os projetos que demonstram que só se viabilizam caso recebam o aporte de recursos do MDL têm sido bem-aceitos.

Os projetos de MDL devem utilizar uma metodologia para desenvolvimento, monitoramento e verificação dos créditos de carbono, que precisa ser previamente avaliada, aprovada e registrada pelo Comitê Executivo do MDL, para garantir que os projetos sejam desenvolvidos obedecendo a essa metodologia, reconhecida previamente pelo painel metodológico da ONU.

Os cálculos foram realizados com base no volume de biodiesel consumido por ano, simulando a utilização desse combustível por toda a frota de ônibus da cidade.

A escolha dessa porcentagem de biodiesel é fundamentada no fato de que com essa mistura é possível obter o melhor *trade-off* entre a redução de emissões de particulados, CO, HC, entre outros, e um eventual aumento de emissões de NO<sub>x</sub>.

Foi estipulada, inicialmente, a criação de quatro cenários para análise: 25%, 50%, 75% e 100% de substituição da frota para uso de biodiesel B20.

No levantamento feito, a frota de ônibus da cidade de São Paulo conta com 5.110 ônibus básicos (convencionais), 5.149 miniônibus, 3.368 ônibus Padron, 922 ônibus articulados, 192 midiônibus e 176 ônibus biarticulados, totalizando 14.917 ônibus (SÃO PAULO TRANSPORTE, 2010).

Assumindo que os ônibus percorrem uma distância média de 200 km por dia (SÃO PAULO TRANSPORTE, 2010) e considerando 25 dias úteis no mês, pôde-se estimar o consumo de biodiesel B5 e B20 da frota paulista de acordo com os vários cenários.

Como as atividades de projeto devem aplicar uma metodologia aprovada ou propor uma nova metodologia sob o processo de aprovação no MDL, e como não existem metodologias aprovadas pelo conselho executivo do MDL que se apliquem integralmente ao estudo proposto, são seguidas as orientações do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), e o cálculo das emissões é feito segundo o método Tier 1, a partir da Equação (1), apresentada a seguir, que calcula as emissões de CO<sub>2</sub> por meio da multiplicação do consumo de combustível calculado, com um fator de emissão padrão de CO<sub>2</sub>, determinado em função do tipo de combustível, levando em consideração ainda os efeitos da emissão indireta, como a emissão para tirar o petróleo do poço, refiná-lo e transportá-lo (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006).

$$Emiss\tilde{a}o_{LB} = \sum [Combust\tilde{v}el_{LB} \cdot FE_{LB}] \quad (1)$$

em que  $Combust\tilde{v}el_{LB}$  = volume consumido de combustível da linha de base (litros) e  $FE_{LB}$  = fator de emissão do combustível de base (tCO<sub>2</sub>eq/GJ).

De forma análoga, para as emissões de projeto, tem-se a Equação (2):

$$Emiss\tilde{a}o_p = \sum [Combust\tilde{v}el_p \cdot FE_p] \quad (2)$$

em que  $Combust\tilde{v}el_p$  = volume consumido de combustível de projeto (litros) e  $FE_p$  = fator de emissão do combustível de projeto (tCO<sub>2</sub>eq/GJ).

Devem, no entanto, ser assumidas algumas premissas para o projeto a fim de delimitar as fronteiras dele:

- O fator de emissão considera todo o carbono presente no combustível que é emitido como CO<sub>2</sub>, exceto a fração inoxidável que permanece como poeira (material particulado).
- Não foi considerada nenhuma taxa de crescimento para a frota de ônibus de São Paulo ao longo dos anos, já que não há projetos prevendo o aumento da frota, e sim de investimentos em infraestrutura.

- Apesar de o diesel B5 consumido no cenário atual ter uma porcentagem de biodiesel (5% nesse caso), considerou-se uma emissão nula para a fração de biodiesel presente no diesel atualmente consumido pela frota de ônibus de São Paulo (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). Essa premissa é conservadora e foi definida com base na metodologia de MDL aprovada AM0090 “Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation” (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2012), que se aplica a projetos que objetivam a mudança de modal de transporte (rodovia para hidrovía ou ferrovia).

Para cada cenário, foi construída uma tabela com o resultado dos cálculos das emissões da linha de base e de projeto, para avaliar a redução acarretada pela substituição do combustível.

Tais tabelas foram alimentadas com dados da frota de ônibus da cidade de São Paulo e dos combustíveis da linha de base e de projeto (Tabela 1).

TABELA 1

## Características dos combustíveis consumidos

Cenário	Combustível	Parâmetro	Valor	Unidade
Linha de base	Diesel	Densidade do diesel	0,85	kg/l
		Poder calorífico inferior	43,00	GJ/t
		Fator de emissão de GEE (diesel)	0,0815	tCO <sub>2</sub> eq/GJ
Projeto	B20	Densidade do diesel B20	0,86	kg/l
		Poder calorífico inferior	41,00	GJ/t
		Fator de emissão de GEE	0,07308	tCO <sub>2</sub> eq/GJ

Fonte: Projeto Best/CNPq (2011).

Com esses dados de entrada, em conjunto com a Equação (1), exposta anteriormente, pôde-se calcular, para cada um dos cenários, uma estimativa da redução de emissões, conforme tabelas 2 a 5 apresentadas a seguir.

## a) Cenário 1:

- Linha de base: 100% da frota de ônibus consome biodiesel B5.
- Projeto: 25% da frota de ônibus passa a consumir biodiesel B20.

TABELA 2

Estimativa de redução de emissão para o cenário 1

Ano	Linha de base		Projeto			Reduções de emissões
	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de linha de base (tCO <sub>2</sub> /ano)	Consumo de diesel B20 (litros/ano)	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de projeto (tCO <sub>2</sub> /ano)	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2011	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2012	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2013	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2014	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2015	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2016	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2017	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2018	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2019	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
2020	447.636.185	1.266.758	114.147.227	335.727.139	1.244.203	22.555
<b>Total</b>	<b>4.476.361.854</b>	<b>12.667.584</b>	<b>1.141.472.273</b>	<b>3.357.271.390</b>	<b>12.442.034</b>	<b>225.549</b>

b) Cenário 2:

- Linha de base: 100% da frota de ônibus consome biodiesel B5.
- Projeto: 50% da frota de ônibus passa a consumir biodiesel B20.

TABELA 3

Estimativa de redução de emissão para o cenário 2

Ano	Linha de base		Projeto			Reduções de emissões
	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de linha de base (tCO <sub>2</sub> /ano)	Consumo de diesel B20 (litros/ano)	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de projeto (tCO <sub>2</sub> /ano)	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2011	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2012	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2013	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2014	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2015	447.636.185	1.266.758	228.294.451	223.818.093	1.221.649	45.110
2016	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2017	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2018	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2019	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
2020	447.636.185	1.266.758	228.294.455	223.818.093	1.221.649	45.110
<b>Total</b>	<b>4.476.361.854</b>	<b>12.667.584</b>	<b>2.282.944.546</b>	<b>2.238.180.927</b>	<b>12.216.485</b>	<b>451.099</b>

c) Cenário 3:

- Linha de base: 100% da frota de ônibus consome biodiesel B5.
- Projeto: 75% da frota de ônibus passa a consumir biodiesel B20.

TABELA 4

Estimativa de redução de emissão para o cenário 3

Ano	Linha de base		Projeto			Reduções de emissões
	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de linha de base (tCO <sub>2</sub> /ano)	Consumo de diesel B20 (litros/ano)	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de projeto (tCO <sub>2</sub> /ano)	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2011	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2012	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2013	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2014	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2015	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2016	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2017	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2018	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2019	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
2020	447.636.185	1.266.758	342.441.682	111.909.046	1.199.094	67.665
<b>Total</b>	<b>4.476.361.854</b>	<b>12.667.584</b>	<b>3.424.416.818</b>	<b>1.119.090.463</b>	<b>11.990.936</b>	<b>676.648</b>

d) Cenário 4:

- Linha de base: 100% da frota de ônibus consome biodiesel B5.
- Projeto: 100% da frota de ônibus passa a consumir biodiesel B20.

TABELA 5

Estimativa de redução de emissão para o cenário 4

Ano	Linha de base		Projeto			Reduções de emissões
	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de linha de base (tCO <sub>2</sub> /ano)	Consumo de diesel B20 (litros/ano)	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de projeto (tCO <sub>2</sub> /ano)	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2011	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2012	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2013	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2014	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2015	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2016	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2017	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220

(continua)

TABELA 5 (conclusão)

Estimativa de redução de emissão para o cenário 4

Ano	Linha de base		Projeto			Reduções de emissões
	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de linha de base (tCO <sub>2</sub> /ano)	Consumo de diesel B20 (litros/ano)	Consumo de diesel B5 (litros/ano)	Emissões de projeto (tCO <sub>2</sub> /ano)	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2018	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2019	447.236.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
2020	447.636.185	1.266.758	456.588.909	0	1.176.539	90.220
<b>Total</b>	<b>4.476.361.854</b>	<b>12.667.584</b>	<b>4.565.889.091</b>	<b>0</b>	<b>11.765.387</b>	<b>902.197</b>

De acordo com os valores obtidos, observa-se uma redução significativa nas emissões de CO<sub>2</sub>, como já era esperado, o que pode servir de argumento para a utilização de investimentos, com o objetivo da implementação do combustível B20 na frota de ônibus de São Paulo e, futuramente, nas frotas de outras cidades e Estados do país.

Ainda se pode enunciar esse projeto como sendo grande gerador de créditos de carbono, uma vez que, desde a assinatura do Protocolo de Quioto, em 2009, os países desenvolvidos signatários podem se utilizar de um mecanismo de flexibilização para o cumprimento das metas de emissões de gases de efeito estufa.

Os créditos de carbono, na forma das reduções certificadas de emissões (RCE), representam as reduções de emissões de GEE decorrentes de atividades de projetos, como o projeto em questão. O país gerador desses créditos os vende para os países signatários e estes conseguem atingir parte de sua meta de redução sem comprometer suas economias. Uma unidade de RCE é igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq).

Analisando financeiramente, é um projeto interessante para o país, uma vez que a cotação para as RCE varia em torno de 15 euros/tCO<sub>2</sub> (PROJETO BEST/CNPq, 2011), gerando, para os quatro cenários estudados, os ganhos apresentados na Tabela 6.

TABELA 6

Potencial de geração de créditos de carbono para cada um dos cenários considerados

Cenário	Reduções de emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)	Receita a ser gerada pelos créditos de carbono (euros/ano)
25% da frota de ônibus consumindo B20	22.555	338.324
50% da frota de ônibus consumindo B20	45.110	676.648
75% da frota de ônibus consumindo B20	67.665	1.014.972
100% da frota de ônibus consumindo B20	90.220	1.353.296

## 5 CONCLUSÃO

Do ponto de vista técnico, a utilização do biodiesel em motores a diesel é viável e não apresenta nenhum ou pouco impacto.

Em uma abordagem ambiental, o biodiesel tem potencial para reduzir de forma significativa a emissão de gases poluentes, contribuindo principalmente nos grandes centros urbanos, onde a circulação de veículos movidos a motores diesel é maior, além de gerar receita com a venda dos créditos de carbono.

Do ponto de vista social, a regionalização necessária para a produção do biodiesel em escala industrial possibilita melhor aproveitamento da agricultura, com aumento da renda do agronegócio e geração de empregos tanto para os produtores de pequeno porte (agricultura familiar), principalmente na Região Nordeste, como para os grandes empreendimentos, inclusive nos processos agroindustriais em conjunto com pequenos empreendimentos.

Quanto ao aspecto econômico, com o aumento da produção de biodiesel, o país, além de promover significativa economia de divisas decorrente do aumento das exportações, pode diminuir gradativamente a importação de óleo diesel, até se tornar autosuficiente, podendo assim minimizar o déficit da balança de pagamentos brasileira.

No entanto, para que isso se concretize, as políticas de incentivo e leis criadas pelo governo federal devem ser cumpridas à risca, a fim de proporcionar benefícios para todos os participantes e, dentro do possível, de forma igualitária, não somente atendendo aos interesses de uma minoria detentora dos meios de produção.

O Brasil possui natural vocação para a agropecuária, apresentando condições de clima favoráveis, grande disponibilidade de água e de solo, com milhões de hectares virgens que permitem a expansão do cultivo de grande variedade de oleaginosas, além de apresentar grande rebanho de suínos e bovinos, fontes também de matérias-primas para o biodiesel.

Os números denotam as perspectivas de crescente investimento no país para aumentar a produção de biodiesel, sendo esta uma convergência mundial. No entanto, o fato de ser um mercado recente, com um complexo agroindustrial ainda em implantação, constitui um desafio a ser vencido.

O Poder Público, por sua vez, deve priorizar a manutenção e a adoção de políticas que cada vez mais estimulem o uso e a produção do biodiesel, dando suporte e possibilitando que o setor de biodiesel se consolide com confiança perante o mercado consumidor.

## BIODIESEL IN BRAZILIAN ENERGY MATRIX VEHICLE

### Abstract

This paper aims to present the current situation of the biodiesel in the energetic array of the country, study the viability of its expansion, tests and essays for the B5 blend use validation in engines and vehicles, the production process of biodiesel, the existing challenges, the environmental concerns with the intensification of oil crops, the species used as raw material, the aspects and the economic interests involved, the technological roots, as well discuss the effectiveness of governmental programs. Scenarios are created to evaluate the effects of the gradual use of biodiesel as fuel for São Paulo's public fleet.

**Keywords:** Biodiesel, environmental impacts, vegetable oils.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=8970#secao4>>. Acesso em: 22 maio 2012.

AMARAL, D. F. *Desmistificando o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: a visão da indústria brasileira de óleos vegetais*. São Paulo: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2009.

ANDRADE, E. B.; MENEZES, R. S.; DUARTE FILHO, A. *Testes e ensaios para validação do uso da mistura biodiesel B5 em motores e veículos*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. *Relatório final 2010*. Rio de Janeiro: Balanço Energético Nacional, 2010.

BRANCO, G. M.; WALSH, M. P. *Controle da poluição dos veículos a diesel: uma estratégia para o progresso no Brasil*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2005.

CHING, W. H.; RODRIGUES, C. W. *Cartilha biodiesel*. São Paulo: Sebrae, 2010.

DUARTE, A. Por dentro de uma usina. *Revista Biodieselbr*, v. 3, n. 17, p. 24-29, 2010.

FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. *O futuro da indústria: biodiesel*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Guidelines for national greenhouse gas inventories: general guidance and reporting*. IPCC, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>>. Acesso em: 6 ago. 2011.

NASCIMENTO, M. da G.; COSTA NETO, P. R. da; MAZZUCO, L. M. *Biocombustíveis: Ciência & Desenvolvimento*, 2001.

O BIODIESEL e sua contribuição ao desenvolvimento brasileiro. *Revista Ubrabio*, v. 1, n. 2, p. 9-13, 2010.

PROJETO BEST/CNPq. *Perspectivas para o uso do etanol no transporte público urbano*. Desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) e financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq). São Paulo: Cenbio, CNPq, 2011.

SÃO PAULO TRANSPORTE. *Alternativas energéticas ao diesel de petróleo*. São Paulo: SP-Trans, 2010.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *Methodologies for CDM. AM0090 e ACM0017*. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved>>. Acesso em: 22 maio 2012.

#### **Contato**

Carolina Parada  
e-mail: carol\_parada@hotmail.com