

ENERGIA BRASILEIRA: SUBSTITUIÇÃO DO DIESEL POR BIODIESEL NA GERAÇÃO TERMELÉTRICA

Nilmaer Souza da Silva
Irene Domenes Zapparoli
Carmen Luísa Barbosa Guedes
Marcia Regina Gabardo da Camara

Tema 4 – Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil: pobreza, fome, saúde, energia e agricultura.

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo mensurar o impacto ambiental e calcular o impacto econômico da inserção gradual do biodiesel no diesel de petróleo no processo de geração de energia elétrica em uma usina termelétrica. Foi utilizada a metodologia de cálculo teórico da emissão de dióxido de carbono para a determinação do impacto ambiental e a metodologia da formação de preço de combustíveis da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a avaliação do impacto econômico. Os resultados mostraram benefícios ambientais do aumento da proporção do biodiesel ao diesel de petróleo. A utilização do diesel B S1800 foi responsável pela emissão de 21.784 tCO₂, em 2013. Os cálculos indicaram que com a utilização do B100 haveria uma redução da emissão de 3,48% de CO₂, chegando a 21.025 tCO₂. O CO₂ liberado durante a combustão do biodiesel é absorvido pela fotossíntese, durante o crescimento da biomassa que dará origem ao biocombustível, gerando assim um ciclo de carbono menos impactante ambientalmente do que o do diesel de petróleo. Sob a perspectiva econômica, os resultados mostraram não haver, nos limites e critérios considerados nesta pesquisa, viabilidade econômica para a substituição gradual do óleo diesel pelo biodiesel em proporções maiores que as regulamentadas. Os cálculos indicaram que o preço do B100 chega a ser 9,19% maior que diesel de petróleo.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Bioenergia. Combustível. Biocombustível. UTE.

Abstract

The objective of this research was to measure the economic impact and calculate environmental impact on the gradual insertion of biodiesel into the petroleum diesel in the process of electric energy generation in the thermoelectric plants. Was used the methodology of theoretical calculation of emissions of carbon dioxide for determining the environmental impact and methodology of formation of fuel price from the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels for evaluating the economic impact. The raising of the biodiesel proportion in the petroleum diesel resulted into environmental benefits. The use of the diesel B S1800 was responsible for the emission of 21.784 tCO₂ in 2013, the calculations indicated that with the use of the B100 there would be a reduction in the emission of 3,48% of the CO₂, reaching the 21.025 tCO₂. The CO₂ released during the burning of biodiesel is absorbed by the Photosynthesis, during the

1. Mestre. Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. E-mail: nilmaer@unoeste.br
2. Doutora. Universidade estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. E-mail: zapparoli@uel.br
3. Doutora. Universidade Estadual de Londrina, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia – UEL. E-mail: carmenluisaguedes@gmail.com
4. Doutora. Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. E-mail: mgabardo@sercomtel.com.br

growth of the bio mass which will originate the biofuel, creating a carbon cycle less aggressive to the environment than the one that uses petroleum-based diesel. Under a economic perspective, the results showed that do not exist economic viability for the gradual substitution of petroleum-based diesel by the biodiesel on proportion bigger than 5% (B5). The calculations indicated that the price of the B100 can be 9,19% bigger than petroleum-based diesel.

Keywords: Electric energy. Bioenergy. Fuel. Biofuel. Maximum of five.

1. Introdução

As questões energéticas têm motivado ampla discussão entre os diversos segmentos da sociedade, permeando os debates políticos, sociais e, por consequência, das ciências. De um lado, figura a necessidade da prosperidade econômica e bem estar humano, e no outro, as questões ambientais. Fato é que, notadamente, esses fenômenos são indissociáveis. A crescente preocupação com as questões ambientais e a necessidade de se perpetuar a economia sustentável, emerge da necessidade de buscar fontes energéticas menos impactantes ambientalmente e economicamente viáveis. Não se deve dissociar temas como desenvolvimento socioeconômico, matriz energética, consumo, exploração de recursos naturais, mitigação da emissão de poluentes, dentre tantos outros.

Há a necessidade de uma avaliação conjuntural e holística dos impactos ambientais e econômicos da substituição, ainda que parcial, de combustíveis fósseis por biocombustíveis na geração de energia elétrica. A questão que se pretende responder nesta pesquisa é: há benefícios ambientais e viabilidade econômica para a inserção gradual do biodiesel ao diesel de petróleo em proporções superiores às já regulamentados?

Nessa perspectiva, verifica-se que o emprego dos biocombustíveis na geração de energia elétrica possui uma série de vertentes, as quais se destacam: utilização em pequenas comunidades isoladas do Sistema Interligado Nacional (SIN); em indústrias que utilizam combustíveis fósseis na geração de energia elétrica, principalmente, nos horários de pico, aonde a energia elétrica da concessionária chega a ser sete vezes mais cara do que nos horários fora de pico; nas termelétricas, que operam em regime contínuo e àquelas que são acionadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para garantir o suprimento energético em tempos de seca.

A característica negativa da exploração dos combustíveis fósseis na geração de energia elétrica passa pela degradação ambiental em todo o seu ciclo de vida, desde a sua extração, passando pelo processo de transformação e, por fim, na operação das usinas e,

consequentemente, na combustão dos combustíveis fósseis; além dos eventuais e usuais acidentes no curso de suas operações, ocasionando desastres, passivos ambientais e econômicos. Esta pesquisa versou sobre a mensuração das emissões de dióxido de carbono provenientes da combustão do biodiesel em diferentes misturas com o diesel de petróleo e o cálculo do impacto econômico da substituição gradativa dos combustíveis fósseis, como misturas diesel-biodiesel. Feito o delineamento da pesquisa, as considerações sobre o estado da arte, foram retratadas as emissões de CO₂ e o impacto econômico por meio de um estudo de caso, bem como elaborados cenários ambientais e econômicos, designadamente, sobre as emissões antrópicas geradas durante o processo de geração de energia elétrica, por meio da combustão do óleo diesel e, por fim, das emissões provenientes das misturas diesel-biodiesel.

Avaliar os impactos ambiental e econômico, da inserção gradual do biodiesel no diesel de petróleo no processo de geração de energia elétrica em usina termelétrica. Mensurar os impactos ambientais decorrentes da emissão do CO₂ pela combustão do biodiesel em diferentes misturas com o diesel de petróleo em UTE. Calcular os impactos econômicos da substituição gradativa do diesel de petróleo pelo biodiesel em UTE.

O estudo está estruturado em cinco partes. Além dessa introdução, apresenta-se a revisão de literatura que traz os principais conceitos e a situação recente da geração de energia brasileira. A metodologia usada na elaboração dos dados sobre geração de energia. A análise de resultados e, por fim, as considerações finais.

2 Revisão da Literatura

As pesquisas que visam à substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis nos processos de geração de energia elétrica baseiam-se na busca do equilíbrio das relações entre as necessidades humanas ilimitadas e na limitação de recursos naturais disponíveis. Portanto, torna-se imperativa a investigação de formas de substituição, ainda que parciais, dos combustíveis fósseis na geração de energia elétrica, visto que os derivados fósseis geram impactos ambientais negativos no ambiente (RIBEIRO; MORELLI, 2009). Considerando as apreensões sobre a eventual finitude do petróleo, bem como os impactos ambientais provocados desde o processo da sua extração até a combustão de derivados do petróleo, a energia proveniente da biomassa surge como alternativa para a produção de etanol e biodiesel (CHHETRI *et al.*, 2008; GOLDEMBERG, 2009).

Segundo Udaeta (1997), os aspectos que precisam ser identificados numa política energética baseada no desenvolvimento sustentável são: garantia de suprimento, mediante a diversificação das fontes; novas tecnologias e descentralização da produção de energia; uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos; custo mínimo da energia; valor agregado a partir dos usos, gerados pelos e na otimização dos recursos; custos reais na energia, contemplando impactos ambientais e sociais, devido a represamento, extração, produção, transmissão e distribuição, armazenamento, e uso das energias negociadas no mercado.

A capacidade das nações em gerar riquezas e a qualidade de vida dos seus cidadãos é influenciada pela disponibilidade de energia. Infere-se que quanto mais diversificada for a matriz energética, mais sólido é o processo de desenvolvimento. Portanto, para que haja desenvolvimento econômico e social, há uma expressiva demanda por energia e com isso, advém à necessidade de segurança e de sustentabilidade energética (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

2.1 Aspectos Institucionais Acerca da Exploração da Energia Elétrica no Brasil

O Ministério de Minas e Energia (MME), órgão da administração federal direta, representa a União como poder concedente e formulador de políticas públicas, bem como indutor e supervisor da implementação dessas políticas nos segmentos: geologia, recursos minerais e energéticos; aproveitamento da energia hidráulica; mineração e metalurgia; petróleo, combustível e energia elétrica, inclusive nuclear (BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013a).

Em 1996, foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da lei nº 9.427 de 26 de dezembro, que tem como principal incumbência, regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.

Em 2004, foi criado pela Lei 10.848 o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), cuja função é acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional, o que demonstra a importância das questões energéticas para a manutenção da nação e da economia (BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013b).

O Ministério de Minas e Energia tem ainda como empresas vinculadas a Eletrobrás e a Petrobrás, as quais são de economia mista. Entre as autarquias vinculadas ao Ministério

estão a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), já referenciada, e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013c).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) foi implantada pelo Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998, é o órgão regulador das atividades que integram a indústria do petróleo e gás natural e a dos biocombustíveis no Brasil. Autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a ANP é responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis, de acordo com a Lei do Petróleo (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2013).

A ANEEL é a organização responsável por toda a regulamentação e fiscalização da cadeia de geração até a comercialização de energia elétrica, tudo conforme as políticas energéticas estabelecidas pelos demais agentes normalizadores. A ANEEL regulamentou, por meio da Resolução Normativa nº 77/04, os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição de energia elétrica. Fazem jus a esses descontos, os empreendimentos que geram energias de fontes renováveis, caracterizados como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), hidrelétricas com potência igual ou inferior a 1.000 kW, e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Esse direito foi estendido, por meio da Resolução Normativa nº 247/2006, aos consumidores especiais - unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW, além dos consumidores livres, isto é, aqueles com carga maior ou igual a 3.000 kW (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010).

A regulamentação emanada pela ANEEL surgiu da Lei 9.427/96 e das diretrizes de políticas energéticas, em especial de energia elétrica, para incentivar, com subsídios econômicos os empreendimentos que produzem energia elétrica por meio de usinas de pequeno e médio porte.

Já as distribuidoras que são obrigadas por força regulamentar a procederem aos descontos na tarifa de conexão dos clientes livres e especiais, bem assim dos agentes de geração (geradores de energia) cujos subsídios são ressarcidos pela união, por meio da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), criada em 26 de abril de 2002 pela Lei nº

10.438. A CDE é gerida pela Eletrobrás, cumprindo programação determinada pelo Ministério de Minas e Energia (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2013).

Esses descontos tarifários são concedidos a considerar que as grandes usinas hidroelétricas, em geral, ficam distantes dos centros de consumo, requerendo a construção de grandes linhas de transmissão em alta e extra-alta tensão (230 kV a 750 kV) que muitas vezes atravessam o território de vários estados. Ao contrário das pequenas usinas, geram considerável impacto social e ambiental (CPFL ENERGIA, 2013).

Compõe ainda o setor elétrico brasileiro o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Em termos práticos, é o ONS quem determina o despacho das usinas de todo o Brasil, por tipo de combustível, incluindo as que utilizam o petrodiesel. (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2013).

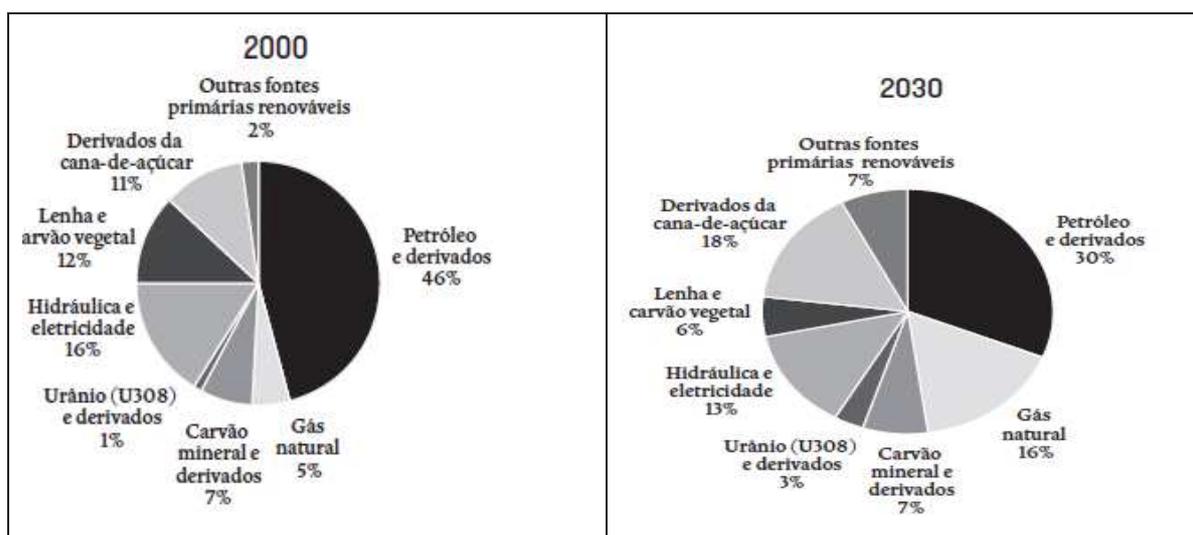


Figura 1 - Evolução da estrutura da oferta de energia no Brasil, 2000-2030
Fonte: Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007)

Matriz energética pode ser entendida como toda energia produzida para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, de uma região ou de uma nação (VICHI; MANSOR, 2009). A produção e o consumo energético brasileiro são demonstrados no Balanço Energético Nacional (BEN), publicação anual da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

No plano brasileiro, historicamente, tendo como marco a década de 70, apenas duas fontes de energia primárias - petróleo e lenha - respondiam por 78% do consumo. Em 2000, três fontes correspondiam a 74% do consumo, além de petróleo e lenha, a energia

hidráulica. De acordo com a figura 2, projeta-se para 2030 uma situação em que quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo: petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Anualmente, a EPE divulga o Balanço Energético Nacional (BEN), documento que dá publicidade às pesquisas e a contabilidade relativa à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia. O referido documento demonstra a compleição da matriz energética brasileira, a qual é formada por toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

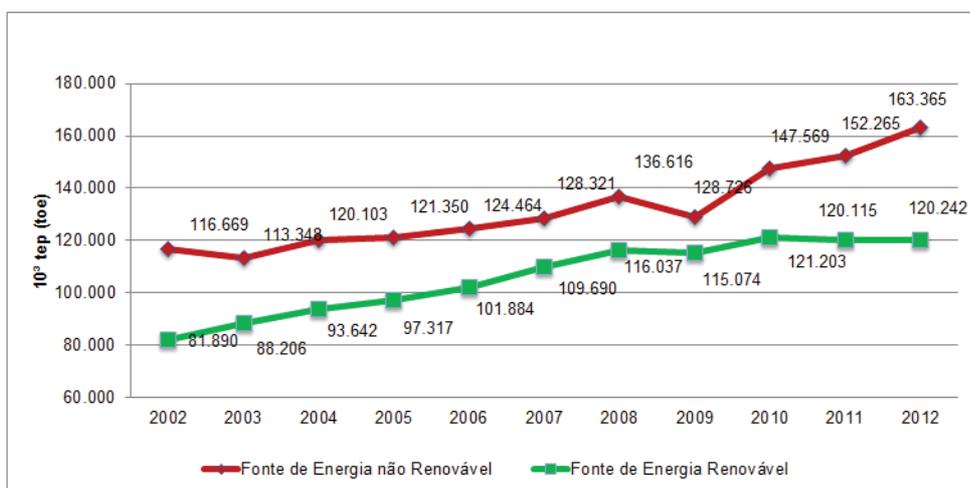


Figura 2 - Oferta Interna de Energia no Brasil em 2012
Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2013)

A figura 2 traz a evolução histórica da oferta de energia interna primária do Brasil, segmentada por fontes renováveis e não renováveis, em milhares de toneladas equivalentes de petróleo. É possível verificar que a energia proveniente de fontes não renováveis aumentou 3,18% de 2010 para 2011, enquanto a oferta interna de energia de fontes renováveis diminuiu em 0,90% no mesmo período. Constata-se que mesmo com todos os esforços empreendidos para a busca de energias renováveis, estes não estão sendo suficientes para a inversão das posições, isto é, que a energia a partir de fontes renováveis cresça mais do que a energia a partir de fontes não renováveis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

O aumento do uso não energético e perdas elevou-se em face do acionamento das térmicas movidas a óleo combustível e diesel, em virtude das condições hidrológicas

desfavoráveis, ao passo em que o PIB teve aumento menor que 1%, dada a recessão econômica mundial. Além disso, na figura 4 é demonstrado que, para um PIB menor que 1%, houve a necessidade de ampliação da oferta de energia em 4,15%.

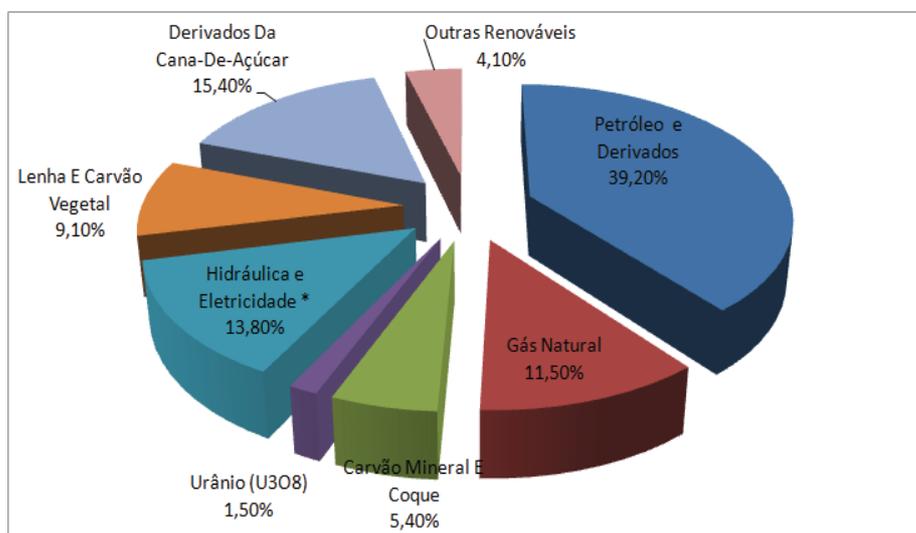


Figura 3 - Oferta Interna de energia primária por fonte no Brasil em 2012

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2013)

Nota: *1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica); 1 Inclui biodiesel; 2 Inclui apenas gasolina A (automotiva); 3 Inclui gás de refinaria, coque de carvão mineral e carvão vegetal, dentre outros.

A figura 3 aponta que o consumo de energia elétrica cresce mais que o PIB, residencial e comercial, e o incremento do consumo de combustíveis líquidos, gasolina e diesel, aproximam-se dos 5%, alavancados em virtude do aumento de veículos nas ruas, decorrentes do incentivo ao consumo promovido pelo governo federal. A elevação no consumo no setor de transportes em 2012, em relação a 2011, foi da ordem de 7,2%, enquanto das atividades industriais mantiveram-se paralisadas, com singela elevação em apenas 0,3% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

A figura 3 traduz a dependência do homem em relação à natureza, visto que as fontes de energia naturais são ainda predominantes na matriz energética, o que consubstancia a necessidade de busca de substituição do petróleo e seus derivados na composição da matriz.

A tabela 1 mostra a quantidade de empreendimentos de geração de energia elétrica em operação no Brasil, por característica de geração e a respectiva potência instalada por segmento. Verifica-se que a potência instalada das outorgas hídricas em operação somam 68,83% da capacidade instalada, seguida de 27,84% das Usinas Termelétricas (UTE), ratificando, assim, a amplitude desta discussão – aumento da segurança energética por

diversificação das fontes, considerando, sobretudo, a significativa dependência das fontes hídricas que, mesmo renováveis, não se traduz em segurança de abastecimento (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Tabela 1 – Capacidade de Geração de Energia Elétrica no Brasil, em 2013

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Participação (%)
Central Geradora Hidrelétrica	402	240.007	238.377	0,19
Central Geradora Eólica	88	1.934.534	1.934.538	1,58
Pequena Central Hidrelétrica	439	4.361.287	4.314.958	3,52
Central Geradora Solar Fotovoltaica	12	11.585	7.585	0,01
Usina Hidrelétrica	204	82.486.844	79.910.808	65,2
Usina Termelétrica	1.627	36.003.954	34.118.122	27,8
Usina Termonuclear	2	1.990.000	2.007.000	1,64
Total	2.774	127.028.211	122.531.388	100

Fonte: Banco de Informações de Geração - BIG (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Com os dados da tabela 1 constata-se que o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil é hidrotérmico de grande porte, haja vista que 98,41% da capacidade de geração de energia é decorrente das fontes hídricas e térmicas (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2013).

Fazendo frente ao parque de termelétricas no país, a tabela 2 detalha os combustíveis utilizados no processo de geração de energia elétrica, demonstrando a quantidade de usinas e potência instalada por fonte. Este inventário da ANEEL mostra que as usinas que utilizam os derivados do petróleo como combustível representam 33,71% da potência instalada, sendo o óleo diesel 15,39% e o óleo combustível 18,32% (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

Tabela 2 – Termelétricas que utilizam combustíveis fósseis na geração de energia elétrica no Brasil em 2013

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Participação (%)
Óleo Ultravistoso	1	131.000	0,58
Gás Natural	107	11.830.730	52,62
Óleo Diesel	983	3.460.604	15,39
Gás de Refinaria	7	278.300	1,24
Óleo Combustível	33	4.119.647	18,32
Carvão Mineral	12	2.664.328	11,85
Total	2.774	127.028.211	100

Fonte: Banco de Informações de Geração - BIG (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013)

O Balanço Energético de 2013, ano base 2012, mostra que a produção de energia elétrica atingiu 598,8 TWh em 2012, resultado 4,4% superior ao de 2011, ao passo que a geração proveniente dos combustíveis fósseis representou 3,3% do total nacional, contra 2,6,% em 2011 (Empresa de pesquisa energética, 2013). O óleo diesel é utilizado em

aproximadamente 86% das termelétricas em operação no Brasil e quando juntado ao óleo combustível, aproxima-se 89% das UTEs, o que denota o desafio que a sociedade terá de enfrentar nos próximos anos, considerando os aspectos e impactos econômicos e sociais dessas plantas térmicas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013).

3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi segmentada em duas esferas. A primeira foi a avaliação do impacto ambiental provocado pela UTE, por meio da realização de cálculo da emissão de dióxido de carbono resultante da queima do diesel de petróleo e projeções das misturas de biodiesel com óleo diesel em diversas proporções, tendo como base o planejamento energético de 2013. A segunda foi a avaliação do impacto econômico, por meio da estrutura de formação de preço dos combustíveis, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica do aumento do percentual de biodiesel ao diesel de petróleo, em diversas proporções.

3.1 Cálculo da Emissão de Dióxido de Carbono

A mensuração da emissão relativa de dióxido de carbono proveniente da combustão do óleo diesel B S1800 e do éster metílico (biodiesel) foi realizado considerando o fator de emissão de 3,11 kg de CO₂ por kg de óleo diesel utilizado como combustível e de 2,86 kg de CO₂ por kg de biodiesel utilizado (PETERSON; HUSTRULID, 1998). Foi considerada a densidade de 0,840 kg/l para o óleo diesel B S1800 e a densidade de 0,880 kg/l para o biodiesel, de acordo com as publicações oficiais do BEN 2013 (BRASIL, 2012a - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

Para o procedimento de cálculo da eficiência operacional da UTE, foi utilizada a relação de eficiência entre o consumo do combustível e a energia elétrica gerada pela usina termelétrica, a qual é obtida pela equação 1.

$$RCC = \frac{V}{E} \quad (01)$$

Onde: RCC = Relação de consumo de combustível; V = Volume de combustível consumido em litros; E = Energia gerada em kWh pela UTE.

Foi estabelecida uma relação entre a emissão de dióxido de carbono proveniente da combustão de fonte estacionária e a geração de energia elétrica gerada pela UTE, que pode ser calculada pela equação 2 (SIMS; SCHOCK, 2007).

$$E_{YkWh} = \frac{EP_Y}{E} \quad (02)$$

Onde: E_{YkWh} = Emissão do poluente (Y), que nesta pesquisa será o CO_2 , expresso em kg.gás/kWh; EP_Y = Toneladas do poluente (Y), que nesta pesquisa será o CO_2 , E = Energia gerada, em kWh, pela UTE.

3.2 Formação de preço de combustíveis

Para a composição do preço das misturas do biodiesel com o diesel de petróleo foram consideradas as estruturas de formação dos preços de combustíveis, elaboradas pela (ANP, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2014).

$$\begin{aligned} D &= A + B + C \\ E &= [(D / (1 - ICMS\%)) - D] \quad (4) \\ F &= D + E \\ G(i) &= (PMPF \times ICMS\% / (1 - MIX(5))) - E \end{aligned} \quad (03)$$

1. Composição do preço do óleo diesel (sem mistura de biodiesel) no produtor ou importador: A. Preço de realização (1); B. Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - Cide (2); C. PIS/PASEP e Cofins (3); D. Preço de faturamento sem ICMS $D = A + B + C$; E. ICMS produtor $E = [(D / (1 - ICMS\%)) - D]$ (4); F. Preço de faturamento com ICMS (sem o ICMS da Substituição Tributária) $F = D + E$; G. (i) ICMS da Substituição Tributária (com PMPF) $G(i) = (PMPF \times ICMS\% / (1 - MIX(5))) - E$; H. Preço de faturamento do produtor (ex refinaria) com ICMS $H = F + G(i)$ ou $G(ii)$; Dedução da Substituição tributária; I. Preço Final do diesel de petróleo; 2. Composição do preço do biodiesel (B100), a ser misturado ao óleo diesel (a partir do produtor de óleo diesel): J. Preço do biodiesel a ser adquirido, pela distribuidora, do produtor de biodiesel (Incluso PIS/PASEP e COFINS) (1); K. ICMS da Substituição tributária; L;

3. Preço final do Biodiesel (B100);

4. Composição do preço do diesel BX (mistura de diesel com biodiesel - B100) a partir da distribuidora: M. Custo de aquisição da distribuidora $M = (I \times (1 - MIX(5))) + (L \times MIX(5))$; N. Margem da distribuidora e logística de entrega até a UTE.

5. Preço final para a UTE. O preço de realização do óleo diesel e do biodiesel pelos produtores é FOB (*free on board*) e já incluem a margem do agente econômico. A previsão legal da CIDE decorre da Lei nº 10.336, de 12/12/01, e suas alterações, combinada com o Decreto nº 5.060, de 30/04/04, e suas alterações. A incidência do PIS/PASEP e da COFINS é prevista na Lei nº 10.865, de 30/04/04, e suas alterações, combinada com o Decreto nº 5.059, de 30/04/04, e suas alterações (para os contribuintes que optaram pela alíquota específica). O preço médio ao consumidor final (PMPF) é estabelecido por Ato Cotepe. O MIX (5) é o percentual de mistura obrigatória biodiesel (B100) ao óleo diesel.

Para a avaliação econômica das misturas de biodiesel ao diesel de petróleo foi estabelecida uma relação entre o custo do combustível utilizado e a energia elétrica gerada pela UTE, que pode ser calculado pela equação 4.

$$C_{GkWh} = \frac{CC \cdot V}{E} \quad (04)$$

Onde: C_{GkWh} = Custo de geração por kWh, expresso em R\$/kWh; CC = Custo de aquisição do combustível, expresso em R\$/Litro; V = Volume de combustível utilizado, expresso em litros; E = Energia gerada pela UTE, expressa em kWh.

Para a composição do preço ideal do biodiesel que compõe as misturas de B10 a B100 em que os preços destas misturas se equivalham ao preço do óleo diesel B S1800 praticado em 2013, que foi de R\$2,53/l foi estabelecida a equação 5 (JACQUES, 2010).

$$Preço_{Diesel} \times PMD + Preço_{Biodiesel} \times (100 - PMD) + CF = 2,53 \quad (05)$$

Onde: Preço do óleo diesel de petróleo A S1800 = R\$ 1,8853; PMD = Percentual de Mistura de óleo diesel de petróleo no combustível; Custo Fixo = R\$ 0,6325; 2,53 = Preço de aquisição do óleo diesel B S1800 em 2013 pela UTE;

4. Resultados e Discussão

Este item discute os resultados da pesquisa e está dividido em duas partes: emissões e dióxido de carbono e impactos econômicos.

4.1 Emissões de Dióxido de Carbono

Neste estudo teórico, a avaliação do impacto ambiental ficou restrita ao cálculo da emissão relativa de dióxido de carbono provocada pela combustão do óleo diesel B S1800 na geração de energia elétrica na UTE e a projeção da emissão de CO₂ das misturas de biodiesel com o óleo diesel de petróleo, em diferentes proporções, durante a queima destes combustíveis. Considerando o planejamento energético, para o ano de 2013, é possível obterem-se alguns resultados e realizar considerações sobre os impactos ambientais gerados a partir da queima do óleo diesel B S1800 para a geração de energia elétrica na UTE, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros fornecidos para o cálculo das emissões pela UTE, em 2013

Parâmetros	Valores
Volume de óleo diesel B S1800 (m ³)	5.825
Produção de energia elétrica (kWh)	19

Fonte: UTE (2013)

Nota-se que a UTE utilizou em 2013 8.354 m³ de óleo diesel B S1800 e, com esse combustível, gerou 29.332 MWh, determinando a relação de consumo entre o combustível e a energia elétrica gerada de 0,284 l/kWh. A emissão de CO₂ à atmosfera proveniente da queima do óleo diesel B S1800 na UTE em 2013 utilizando os 8.354 m³ foi de 21.784 tCO₂. (Figura 1) Para Salomon (2003) o CO₂ é um dos principais gases poluentes emitidos

pela queima do óleo diesel na geração de energia elétrica. Rogner e Zhouu (2007) citam que as principais fontes poluidoras responsáveis pelo aumento da concentração dos gases do efeito estufa (GEE) são os combustíveis fósseis, sendo CO₂ o gás mais emitido pelas ações humanas, responsável por mais de 77% de todas as emissões antropogênicas. O uso dos combustíveis fósseis, tal como o óleo diesel de petróleo, é responsável por 56% das emissões de CO₂ de todas as atividades humanas (ROGNER; ZHOOU, 2007). Com base nos dados da Figura 1, pode ser constatado que a emissão proveniente da combustão do óleo diesel B S1800 foi de 21.784 tCO₂ e é reduzida a 21.025 tCO₂ com a utilização do B100, ou seja, há uma redução da emissão de CO₂ na combustão de 3,45%, o equivalente a 759 tCO₂.

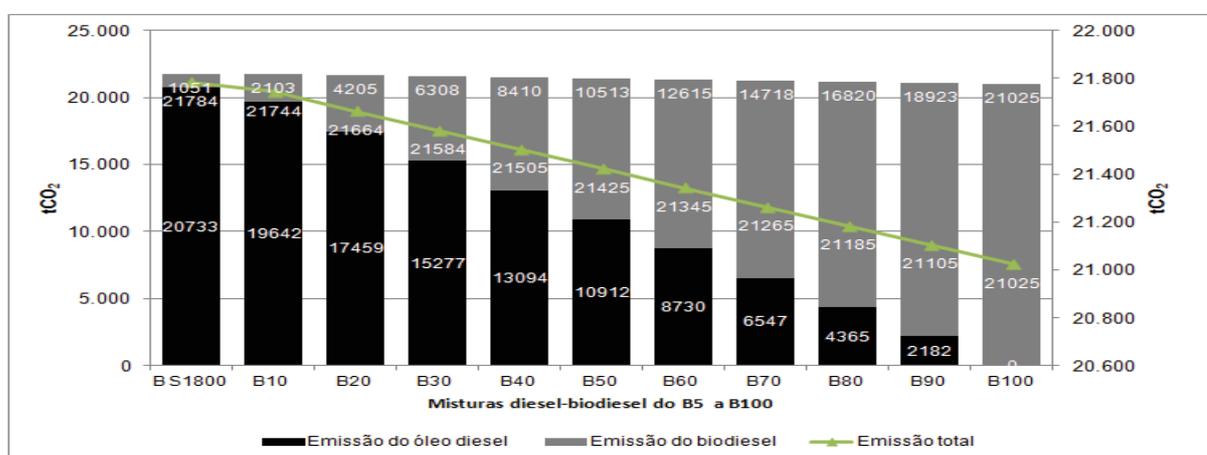


Figura 1 - Emissão de dióxido de carbono do óleo diesel B S1800 e a projeção da emissão das misturas biodiesel com o diesel de petróleo do B10 ao B100 em tCO₂ na UTE em 2013.

Fonte: Calculado a partir da metodologia de (PETERSON; HUSTRULID,1998)

Para Barnwal e Sharma (2005) a inserção gradativa do biodiesel ao diesel de petróleo permite a redução da emissão de CO₂ decorrente da combustão. De acordo com Peterson e Hustrulid (1998) e considerando a densidade do combustível, a cada litro de óleo diesel queimado para a geração de energia elétrica são gerados 2,61 kg de CO₂, enquanto emissão de CO₂ por litro de biodiesel é de 2,52 kg por litro, isto é, 3,45% menor. Dessa forma, o aumento do percentual de biodiesel ao diesel de petróleo minimiza a quantidade de CO₂ emitido na combustão, conforme pode ser verificado na Figura 1.

Outro fato de destaque é que a UTE utilizou até 31 de dezembro de 2013 o óleo diesel B S1800, ou seja, combustível que possui em sua composição 1800 mg de enxofre por quilograma de combustível. A partir de 01 de janeiro de 2014, a UTE passou a utilizar o óleo diesel B S500, isto é, que possui em sua composição 500 mg de enxofre por quilograma de combustível, reduzindo assim, 1300 mg de enxofre por quilo de combustível utilizado na UTE. Ressalta-se que, além da redução da emissão de CO₂

quando o diesel de petróleo é substituído pelo biodiesel, a redução da quantidade de enxofre é outro benefício ambiental. A emissão de enxofre à atmosfera provoca problemas de saúde aos seres humanos e contribui com a formação de chuva ácida. Já o biodiesel não contém enxofre na sua composição (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008; AMAIS; DONATI; NÓBREGA, 2012).

Além da redução da emissão de CO₂ quando se utiliza o biodiesel em substituição ao diesel de petróleo, o dióxido de carbono emitido durante a queima do biodiesel é absorvido pelas oleaginosas que dão origem ao biodiesel, gerando um ciclo de carbono menos impactante ambientalmente. Esta foi a conclusão dos estudos de Peterson e Hustrulid (1998) considerando como matéria prima para o biodiesel o óleo de colza. No caso do Brasil, a produção de biodiesel é realizada em mais de 77% com base na produção de soja. No entanto, o raciocínio de reciclagem do dióxido de carbono é o mesmo, ou seja, com a utilização do biodiesel em detrimento ao diesel de petróleo é possível uma redução da concentração de CO₂ na atmosfera (PETERSON; HUSTRULID, 1998). Destaca-se que à medida que se emprega o biodiesel no diesel de petróleo há a redução da emissão de SO_x até a sua completa eliminação, quando da utilização do B100 (BARNWAL; SHARMA, 2005). A substituição do diesel de petróleo pelo biodiesel promove a redução das concentrações destes gases na atmosfera, os quais são atribuídos, por alguns pesquisadores, como fatores de mudança climática (PETERSON; HUSTRULID, 1998; ROGNER; ZHOOU, 2007).

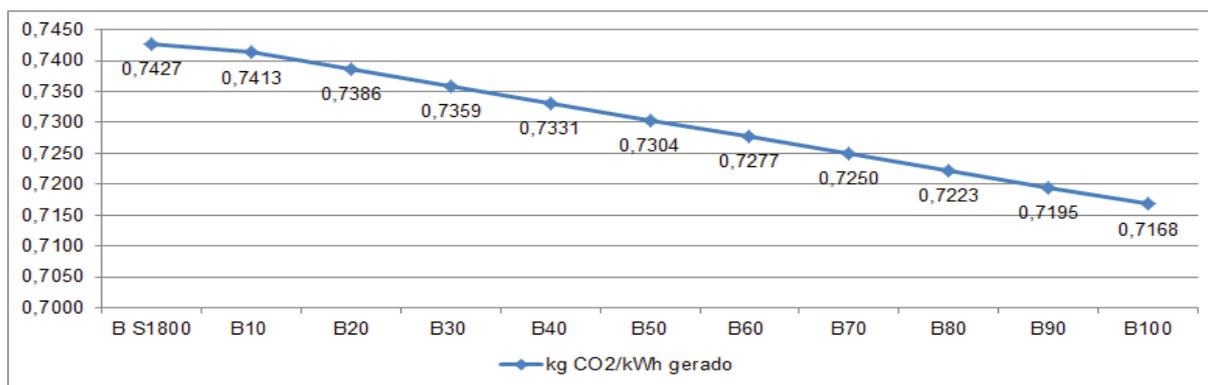


Figura 2 - Emissão de CO₂ por kWh gerado pela UTE com óleo diesel B S 1800 e a projeção da emissão de CO₂ das misturas biodiesel e diesel de petróleo de B10 a B100. **Fonte:** Calculado pelo autor de acordo com a metodologia de Sims e Shock (2007).

A Figura 2 apresenta a relação entre a emissão de CO₂ proveniente da queima do combustível em fonte estacionária, utilizado na UTE e a geração de energia elétrica pela UTE com o óleo diesel B S 1800, bem como com as misturas de B10 a B100. Os cálculos

foram feitos conforme a equação 3 (SIMS; SCHOCK, 2007). Constatou-se que ao utilizar o B S1800 em 2013, a cada kWh gerado pela UTE foi emitido 0,7427 kg de CO₂, ao passo que, ao utilizar o B100, é possível reduzir a emissão de CO₂ para 0,7168 kg de CO₂/kWh, reduzindo assim, 26 gramas de CO₂ por kWh gerado.

Extrapolando os resultados obtidos nesta pesquisa, em que a substituição do diesel de petróleo pelo biodiesel mitiga a emissão de 759 tCO₂ por ano, para uma termelétrica de 6.300 W de potência ativa e, considerando como hipótese que as 983 usinas termelétricas do país que utilizam o óleo diesel, as quais totalizam 3.460.604 kW, operam com o mesmo rendimento energético, é admissível inferir que seria possível mitigar a emissão de 416.920 tCO₂, ao ano, substituindo o óleo diesel pelo biodiesel (B100) nas termelétricas em operação no Brasil.

Além da redução da emissão de CO₂ com a substituição do diesel pelo biodiesel, não há emissão do dióxido de enxofre com a utilização do biodiesel, uma vez que este biocombustível não possui enxofre na sua composição. Esta projeção demonstra o impacto ambiental positivo que a substituição do diesel pelo biodiesel, na geração de energia elétrica, em termelétricas, pode proporcionar ao meio ambiente. Outro fato relevante é que a emissão de CO₂ proveniente da queima do biodiesel é reciclada durante o crescimento das oleaginosas que são matéria prima para a produção do biodiesel. No entanto, para novos estudos, recomenda-se o monitoramento da emissão de CO₂ da cultura que dará origem ao biodiesel, quer seja mensuração em campo, quer seja por intermédio de análise do ciclo de vida, como para a soja, por exemplo, que é matéria prima de 77% do biodiesel.

4.2 Impactos Econômicos

As discussões sobre a utilização do biodiesel em proporções superiores as já regulamentadas, em usinas termelétricas, sob a perspectiva econômica é de extrema relevância. Prova disso é que a utilização do óleo diesel nas termelétricas, que estão em operação por conta dos baixos níveis dos reservatórios, tem reflexo na balança comercial. De dezembro de 2013 para janeiro de 2014, houve uma evolução de 40% na importação do óleo diesel, alavancada pela utilização do diesel nas termelétricas (AMORIN; BAHNEMANN, 2014).

Outro fato relevante é que o custo de operação desses empreendimentos é superior ao das usinas hidrelétricas. A utilização das termelétricas no Brasil em detrimento às hidrelétricas, só em 2013, custou R\$ 9,5 bilhões ao governo federal, custo que será

repassado ao consumidor em parcelas que vão de 2014 a 2018 nos processos de revisão tarifária das distribuidoras de energia. Em 2014, já foram aportados R\$ 9 bilhões na Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, com fundamento no Decreto nº 7.891, de 23 de janeiro de 2013, atualizado pelo Decreto nº 7.945, de 7 de março de 2013.

Além dessas medidas, o conselho nacional de política energética (CNPE), por meio da Resolução nº 3, de 6 de março de 2013, autorizou a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) a captar mais recursos financeiros para suportar a geração de energia elétrica das usinas termelétricas a diesel. Em síntese, o ônus das operações das usinas termelétricas será repassado nas tarifas de energia elétrica dos consumidores, bem como dividida entre os demais agentes do setor elétrico, tais como: clientes livres; usinas e distribuidoras, por meio do Encargo de Serviços do Sistema.

Neste estudo teórico a avaliação do impacto econômico ficou restrita à formação dos preços do óleo diesel B S1800, bem como das misturas de biodiesel com o diesel de petróleo em diferentes proporções, isto é do B10 ao B100. Com a análise da formação de preço das misturas de biodiesel com o óleo diesel de petróleo é possível avaliar se há viabilidade econômica para o emprego destas misturas na UTE.

Para a análise do impacto econômico das misturas de biodiesel com o óleo diesel de petróleo foi necessário, inicialmente, o preço médio pago pelo litro do óleo diesel B S1800 em 2013, uma vez que todos os dados coletados sobre o planejamento energético são de 2013. O preço de aquisição do óleo diesel B S1800 utilizado na UTE em 2013, segundo as informações da Energia foi de R\$ 2,53/l (Figura 3).

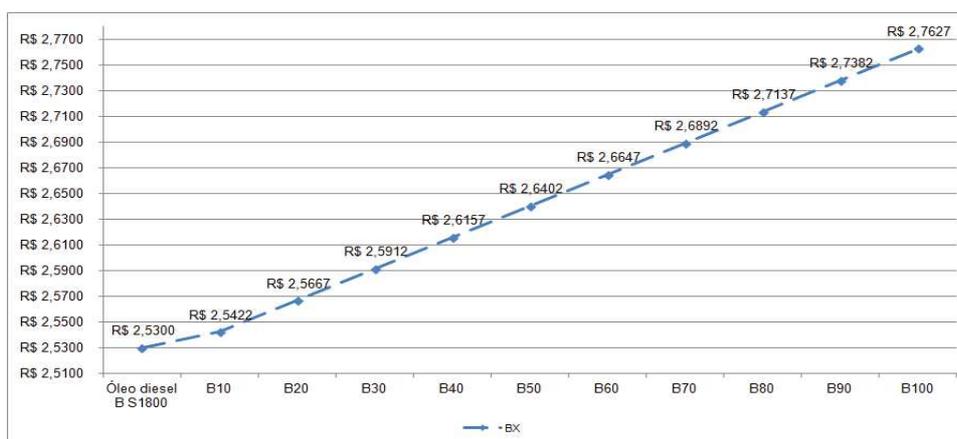


Figura 3 – Preço do litro do óleo diesel B S1800 e das misturas BX de B10 a B100, para a UTE, em 2013.

Fonte: Calculado pelos autores de acordo com a metodologia da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014)

O preço do óleo diesel BX ao consumidor final é composto da seguinte maneira: na parcela pertencente ao produtor do óleo diesel de petróleo, considera-se o preço realizado

na produção, que para o a região norte do país é de 56% do preço final (BRASIL. MME, 2013f). Logo, 56% de R\$ 2,53 do óleo diesel B S1800 é igual a R\$ 1,4168. A incidência da CIDE, hoje no Brasil é nula. Incidem PIS/PASEP e COFINS na proporção de R\$ 26,36/m³ e R\$ 121,64/m³, respectivamente, de acordo com o artigo 4º da Lei nº 9.718 de 27 de novembro de 1998. A alíquota de ICMS para o produtor de óleo diesel no estado é de 17% de acordo com o artigo 12, I, c do Decreto nº. 20.686, de 28 de dezembro de 1999 – RICMS/AM. Ainda com base no RICMS é cobrado do produtor de óleo diesel, como substituição tributária, o ICMS presumido pelo Preço Médio Ponderado ao Consumidor Final, que em dezembro de 2013 foi de R\$2,5317 por litro de óleo diesel B S1800 comercializado.

O biodiesel (B100) tem o seu preço definido em leilões realizados pela ANP. O preço médio do litro do biodiesel comercializado em 2013 foi de R\$ 1,9977. No entanto, para a avaliação econômica, foi deduzido o ICMS da substituição tributária que ocorreu junto ao produtor do óleo diesel de petróleo e acrescentado na composição do preço do biodiesel, atingindo, assim, o preço médio de R\$ 2,1302/l. Para a composição das misturas BX, foi realizada a média ponderada das misturas, como, por exemplo, para o óleo diesel B S1800, 95% do preço do óleo diesel de petróleo mais 5% de B100, chegando a um valor de R\$ 1,8975. Acrescentou-se, por último, o valor de R\$ 0,6325/l relacionado à logística de coleta do óleo diesel de petróleo, do biodiesel, ambos até a distribuidora, a margem de comercialização da distribuidora e logística A UTE, compondo, assim, o preço de R\$ 2,53 por litro de óleo diesel B S1800, R\$ 2,5422 para o B20 até o preço do B100, que foi de R\$ 2,7627 o litro. (Figura 4)

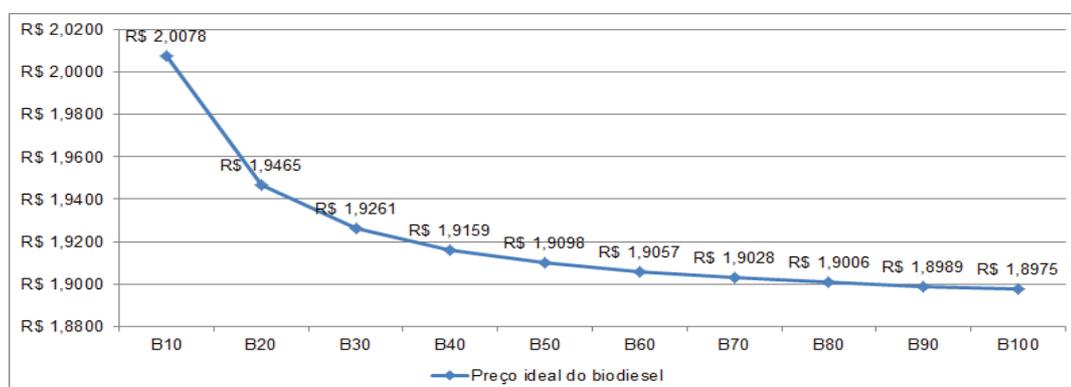


Figura 4 – Preço ideal do biodiesel que viabiliza o emprego das misturas diesel-biodiesel do B10 ao B100.
Fonte: Calculado pelos autores a partir da metodologia de Jacques (2010).

O custo de aquisição de combustível do óleo diesel B S1800 e as projeções das demais misturas de B10 a B100, para o ano de 2013, considerando o volume de 8354 m³ de

combustível é significativo. O custo de aquisição do óleo diesel B S1800, que foi utilizado em 2013 para a UTE foi de R\$ 21.237.930,87. Tendo em vista o preço de o biodiesel ser maior, nas condições e limites desta pesquisa, que o preço do B5, na medida em que o aumento de biodiesel é considerado, o custo das misturas também evolui, chegando a R\$ 23.079.526,55, isto é, a adoção do B100 encareceria o custo de aquisição do combustível em R\$ 1.943.906,55 para a UTE em 2013.

A relação entre o custo do combustível utilizado em 2013, que foi o B S1800 (B5) e a energia elétrica gerada pela UTE, expresso em kWh, bem como as projeções dos custos do kWh do B10 ao B100. Em 2013 a UTE operou com óleo diesel B S1800 e teve uma relação entre o custo do combustível comprado que foi de R\$ 21.135.620,00 e a energia elétrica gerada, que foi de 29.332.000 kWh, de R\$ 0,7206/kWh. Com a adoção do B10, considerando o mesmo rendimento energético, o custo do kWh seria de R\$ R\$ 0,7241. Já com a adoção do B100, o custo do kWh gerado passaria para R\$ 0,7868/kWh, isto é, 9,19% superior ao B5.

No plano do estudo de caso desta pesquisa, buscou-se ainda o estabelecimento do preço ideal do biodiesel que atingisse, na composição final de cada mistura (BX), o preço de equivalência do óleo diesel B S1800, utilizado n UTE em 2013, que foi de R\$ 2,53 em relação às misturas de B10 a B100. Para tanto, calculou-se o preço do litro do biodiesel contido nas misturas de B10 a B100, considerando a proporção de diesel e de biodiesel de cada mistura, de modo que o custo total não ultrapassasse o preço do óleo diesel B S1800 (R\$ 2,53) As misturas de B10 a B100 atingem o preço ideal quando o preço por litro de biodiesel está entre R\$ 2,0078, para o B10 a R\$ 1,8975 para o B100, com variação máxima de 10,92%. Dessa forma, o preço médio do litro do biodiesel que foi de R\$ 2,1302, em 2013, deveria ser reduzido a R\$1,8975, com impostos, para que o óleo diesel fosse substituído em 100% pelo biodiesel, de modo que fossem mantidos os mesmos custos de aquisição de combustível da UTE em 2013. Caso o biodiesel viesse a atingir preço inferior a R\$ 1,8975, a UTE passaria a ter redução do custo de aquisição de combustível, viabilizando, nas condições e limites desta pesquisa, o emprego do B100.

4. Considerações Finais

Há 983 usinas termelétricas no país que utilizam o óleo diesel como combustível para a geração de energia elétrica. A utilização dos combustíveis fósseis é responsável por mais de 56% da emissão de CO₂ das atividades humanas em todo o mundo. A utilização do

biodiesel em substituição ao diesel de petróleo pode minimizar a quantidade de dióxido de carbono emitido durante a combustão e reciclar o CO₂ emitido pela queima do biocombustível quando do crescimento das oleaginosas que servirão como matéria prima para a produção de biodiesel. Um dos motivos que dificultam o aumento do percentual de biodiesel ao diesel de petróleo é a inviabilidade econômica, pois o custo da produção do diesel de petróleo ainda é menor do que o custo de produção do biodiesel.

Considerando o estudo de caso desta pesquisa, sob a ótica ambiental, os resultados permitem concluir que a UTE emitiu 21.784 tCO₂ proveniente da combustão do óleo diesel B S1800 para a produção de 29.332 MWh de energia em 2013. As projeções realizadas mostraram decréscimo da emissão de CO₂ quando há aumento na proporção de biodiesel ao diesel de petróleo, sendo que a utilização do B100 reduziria a emissão de CO₂ decorrente da queima do combustível em 759 tCO₂, atingindo 21.025 tCO₂ para o ano de 2013. O aumento do percentual de biodiesel ao diesel de petróleo reduz ainda a emissão do SO_x emitido durante a queima do óleo diesel, que provoca danos à saúde do ser humano e é um dos responsáveis pela formação de chuva ácida. Com isso, conclui-se que a adoção do biodiesel pode minimizar a concentração de CO₂ e SO_x decorrentes das atividades humanas. Extrapolando os resultados desta pesquisa para todo o parque de geração de energia elétrica que utilizam o óleo diesel como combustível no Brasil, considerando, hipoteticamente, que todas as usinas operam com o mesmo rendimento energético, seria possível mitigar a emissão de 416.920 tCO₂, ao ano, para a potência instalada de 3.460.604 kW.

Na perspectiva econômica, foi possível concluir que, nos limites desta pesquisa, considerando os preços de produção do óleo diesel de petróleo e os preços médios de comercialização do biodiesel em 2013, não há, nestas condições, viabilidade econômica para a inserção do biodiesel sem que haja o aumento do custo de aquisição de combustível da UTE. O preço médio do litro do óleo diesel B S1800 em 2013, para a UTE foi de R\$2,53. A adoção do B10, por exemplo, elevaria o preço a R\$ 2,5422, chegando a R\$ 2,7627 com o emprego do B100, elevando o custo em 9,19%. O custo de aquisição do combustível para a operação em 2013 foi de R\$ 21.135.620,00 e, com o B100, atingiria R\$ 23.079.526,55, elevando o custo de operação da termelétrica em R\$ 1.943. 906,55, ao ano. Calculado o preço ideal do litro de biodiesel que viabilizaria o aumento gradativo de biodiesel em substituição ao óleo diesel B S1800, que foi de R\$ 2,53, o preço por litro do biodiesel, para o B10 deveria ser R\$ 2,0078, com impostos e não de R\$ 2,1302. Para o

B100, o preço ideal seria R\$ 1,8975, isto é, 10,92% menor do que o preço praticado em 2013, isto é, o B100 deveria ter, em toda a sua cadeia produtiva, o custo máximo de R\$1,8975, para que houvesse a viabilidade econômica para a adoção do B100 em substituição ao óleo diesel B S1800.

Referências

ANP. Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis. **Competências Da ANP**. 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=60389&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1362253546376>>. Acesso em: 2 mar. 2013.

ANP. Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis. **Estruturas de formação dos preços**. 2014. Disponível em:< <http://www.anp.gov.br/?pg=62871&m=estruturas%20de%20forma%E7%E3%20dos%20pre%E7os&t1=&t2=estruturas%20de%20forma%E7%E3%20dos%20pre%E7os&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1399375605709>>. Acesso em: 6 maio 2014.

Amais, R. S.; Donati, G. L.; Nobrega, J. A. Interference Standard Applied To Sulfur Determination In biodiesel microemulsions by ICP-QMS. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. ,São Paulo, v. 23, n. 5, May 2012 .

Amorin, D.; Bahnmann, W. O acionamento das térmicas a óleo diesel já tem reflexo na balança comercial. **Estadão**. Rio de Janeiro, 04 mar. 2014. Economia. Disponível em< <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,acionamento-de-termicas-a-oleo-diesel-ja-tem-reflexo-na-balanca-comercial-imp-,1137067>>. Acesso em 06 mar. 2014.

BARNWAL, B.K.; SHARMA, M.P. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.9, p. 363-378, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. Rio de Janeiro: EPE, 2012a. 2v.

_____. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 27 dez. 1996. Seção 1, p. 142

_____. Lei nº 10.336, de 12 de dezembro de 2001. Institui Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível (Cide), e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2001. Seção 1, p. 8

_____. Lei n 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. . **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 13 jan. 2005. Seção 1, p. 8.

_____.MEDIDA PROVISÓRIA Nº 647, DE 28 DE MAIO DE 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, e dá outras providências. . **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 29 maio. 2014. Seção 1, p. 1.

____. Decreto nº 7.891, de 23 de janeiro de 2013. Regulamenta a Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, que dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária, e a Medida Provisória nº 605, de 23 de janeiro de 2013, que altera a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 24 jan. 2013. Seção 1, p. 1.

____. Ministério do Estado do Desenvolvimento Agrário. **Procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do selo Combustível Social**. 2012. Disponível em: <http://portal.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodisel/arquivos-2012/PORTARIA_N%BA_60_2012.pdf>. Acesso em: 30 set. 2013.

____. Portaria ANP Nº 80, de 30 de abril de 1999. Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 003/99, anexo a esta Portaria, que especifica os óleos combustíveis de origem nacional ou importados a serem comercializados em todo o território nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 3 maio 1999. Seção 1, p.16.

____. Resolução ANP nº 65, de 9 de dezembro de 2011. Regulamenta as especificações dos óleos diesel de uso rodoviário, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico ANP nº 8/2011, parte integrante desta Resolução, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional.. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 dez. 2011. Seção 1, p.195-201.

____. Resolução ANP nº 45, de 20 de dezembro de 2012. Regulamenta a especificação do óleo diesel de uso não rodoviário, doravante denominado óleo diesel não rodoviário, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico ANP nº 8/2012, parte integrante desta Resolução, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional... **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 21 dez. 2012. Seção 1, p.838-839.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHAMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**, v.27, n.3, p. 472-482, 2003.

CAETANO, T. **Estudo de miscibilidade de etanol com componentes do diesel e biodiesel**. 2003. 118 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2003.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Sistemas Isolados - mapas eletrogeográfico - 2009**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/ELB/main.asp?ViewID={FC887C50-FE1A-4B1A-BC32-671B3A391036}>>>.

CHHETRI, A. B.; TANGO, M. S.; BUDGE, S. M.; WATTS, K. C.; ISLAM, M. R. Non-edible plant oils as new sources for biodiesel production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, p. 169-180, 2008.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. **Química Nova**. v. 32, n. 3, p. 582- 587, 2009.

MAIA, D.J.; GAZOTTI, W.I.; CANELA, M.C; SIQUEIRA. A.E. Chuva ácida, equilíbrio químico e acidez. **Química Nova Na Escola**, N.21, P.1-3, Mai. 2005

PETERSON, C. L.; HUSTRULID, T. Cabon Cycle for Rapeseed Oil Biodiesel Fuels. **Biomass and Bioenergy**, v.14, n.2, p.91-101, 1998.

SIMS, R.E.H.; SCHOCK, R. N.(Coord). **2007 IPCC. Energy supply**. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.,Chapter 4, p.295.

RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M.R. **Resíduos Sólidos: Problemas ou Oportunidades?**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

UDAETA, M. E. M. **Planejamento integrado de recursos energéticos –pir– para o setor elétrico: pensando o desenvolvimento sustentável**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) - USP, São Paulo. Disponível em: <<http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/tesepir%20memu%201997.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, São Paulo, n. 79, nov. 2007. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002007000300003&script=sci_arttext>. Acesso em: 04 jul.2013.

VICHI, F. M.; MANSOR, M.R.C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v 32, n.3, p.757-767, 2009.