



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**FACULDADE DE ECONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**  
**MESTRADO EM ECONOMIA**

**LAURA SAMPAIO DE SÁ OLIVEIRA**

**BIODIESEL NO TRANSPORTE BRASILEIRO:  
O IMPACTO NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>**

**SALVADOR**

**2013**

**LAURA SAMPAIO DE SÁ OLIVEIRA**

**BIODIESEL NO TRANSPORTE BRASILEIRO:  
O IMPACTO NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Área de concentração: Economia Regional e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Ferreira Tiryaki.

**SALVADOR**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada por Vânia Magalhães CRB5-960

S48 Sá Oliveira, Laura Sampaio de  
Biodiesel no transporte brasileiro: o impacto nas omissões de CO<sub>2</sub>./ Laura Sampaio de Sá Oliveira.\_ Salvador, 2013.  
151 f. : il.; fig.; graf.; quad.; tab.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Economia, 2013.  
Orientadora: Profa. Dra. Gisele Ferreira Tiryaki.

1. Biodiesel – Aspectos ambientais - Brasil. 2. Biocombustíveis - Brasil. 3. Política ambiental – Brasil. 4. Aquecimento global. I. Tiryaki, Gisele Ferreira. Título. III. Universidade Federal da Bahia.

CDD – 363.17



TERMO DE APROVAÇÃO

LAURA SAMPAIO DE SÁ OLIVEIRA

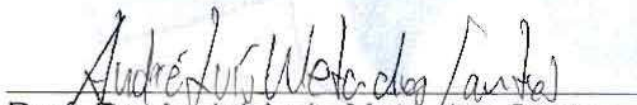
**“BIODIESEL NO TRANSPORTE BRASILEIRO: O IMPACTO  
NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>”**

Aprovada em 18 de dezembro de 2013.

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para  
obtenção do Grau de Mestre em Economia pela seguinte banca  
examinadora:



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Ferreira Tiryaki  
(Orientadora/PPGE/ECO/UFBA)



Prof. Dr. André Luís Mota dos Santos  
(PPGE/ECO/UFBA)



Prof. Dr. Osvaldo Lívio Soliano Pereira  
(UNIJORGE)

À minha família e ao meu noivo, Rafael

## AGRADECIMENTOS

Chega enfim o momento de agradecer aqueles que fizeram parte da realização do meu mestrado.

A Rafael, meu noivo, companheiro de todos os momentos. Grande incentivador dos meus estudos. Seu apoio foi imprescindível para a realização dessa etapa da minha vida.

À minha dedicada mãe, meu porto seguro, com quem sempre posso contar para as batalhas da vida. No mestrado não foi diferente.

À minha irmã, pela torcida e admiração, muitas vezes silenciosa, mas sempre presente.

Ao meu pai, com quem partilhei grande parte da trajetória do mestrado, agradeço pelos debates, orientações, incentivo e a convivência diária.

À Rosa, pelo acolhimento, cuidado e risadas partilhadas, foram fundamentais.

A toda minha família que esteve sempre na torcida.

Às minhas amigas que, apesar da distância, se fizeram presente de alguma forma: Priscila, Renata, Lys e Márcia.

À Lúcia Falcón, pela confiança em meu trabalho e pelo incentivo aos meus estudos.

Aos colegas de trabalho que fizeram o dia-a-dia mais suave e que torceram pela concretização desse trabalho, em especial, Marcel, Flávia, Amanda e Bruce.

Aos meus companheiros de aventuras do Mesteco, vocês foram incríveis e tornaram essa jornada única. Stefanie e Érica (minha “instituição”) e Bernardo, Conrado, Emerson, Júlia, Lucas, Sydênia, e Thiago. Além dos nossos agregados, Henk, Maria Alice, Samara e Marina.

À banca que aceitou avaliar o meu trabalho, em especial ao Professor André, que dedicou parte do seu tempo a indicar caminhos que concretizassem o trabalho.

À Professora Gisele, minha orientadora, pelo conhecimento e experiências transmitidos, e pelo compartilhamento da construção deste trabalho.

Aos funcionários do mestrado que auxiliam para que os requisitos burocráticos sejam cumpridos.

A todos que torceram para que eu finalizasse com êxito essa jornada.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

## RESUMO

O efeito estufa é um fenômeno natural do planeta Terra, que provoca retenção de calor no planeta e viabiliza a vida humana. Parte da comunidade científica afirma que, com o aumento da poluição do ar ocasionado pelo padrão de produção e consumo estabelecido na sociedade a partir da Revolução Industrial, além das consequências à saúde humana, esse fenômeno foi acentuado e provocou alteração no padrão de chuvas, das áreas agricultáveis, das temperaturas etc. Apesar de o Brasil possuir uma matriz energética composta, aproximadamente, de 47% de fontes renováveis, a matriz de transporte brasileira é predominantemente fóssil e representa, em média, mais de 70% do consumo de combustíveis fósseis no Brasil, ou seja, de combustíveis que emitem gases do efeito estufa (GEE). O uso do biodiesel é uma das ações adotada pelo Governo Federal no sentido de reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Por meio da lei nº 11.097/05 foi concretizado o marco regulatório do biodiesel, que é um biocombustível renovável, e quando adicionado ao óleo diesel reduz a emissão de CO<sub>2</sub> causada pela queima do mesmo. O objetivo do trabalho é estimar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel, tanto para um período passado (2005-2012), como para o futuro (2013-2017). Além disso, o trabalho propõe-se a monetizar os resultados obtidos utilizando como referência valores de crédito de carbono. Para estimar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, estima-se antes a curva de demanda do diesel, a partir de técnicas de cointegração e um Vetor de Correção de Erros (VEC), que possibilita estimar o consumo futuro do diesel e do biodiesel. Os resultados foram monetizados tendo como referência valores de crédito de carbono, e comparados com os gastos extras decorrentes da substituição do diesel pelo biodiesel e com os gastos com saúde no Brasil. Constatou-se que as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> foram crescentes, tanto entre 2005 e 2012 como entre 2013 e 2017, atingindo, em 2012, 1% de todas as emissões brasileiras de CO<sub>2</sub>, e que a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> cresce a uma velocidade maior que os gastos com saúde no país. Percebe-se que os atuais resultados são tímidos, mas apresentam uma progressão e evidenciam que o biodiesel é um caminho possível para reduzir o crescimento das emissões de CO<sub>2</sub> e melhorar a qualidade do ar, o que significa que, apesar do custo, ocorre redução das externalidades negativas resultantes da queima do diesel.

Palavras-chave: Biodiesel. Emissões evitadas de CO<sub>2</sub>. Efeito estufa. Externalidades.



## ABSTRACT

The greenhouse effect is a natural phenomenon on the planet Earth, causing heat retention on the planet and makes human life possible. Some scientists said that, with the increase of air pollution caused by the production and consumption mode established in society since the Industrial Revolution, besides its consequences for human health, this phenomenon has been exacerbated and caused changes in rainfall patterns, the arable areas, temperatures etc. Despite of having an energy matrix based 45% on renewable sources of energy, Brazilian transportation matrix is predominantly fossil and represents, on average, over 70% of fossil fuel consumption in Brazil, ie fuels that emit greenhouse gases (GHGs). The use of biodiesel is one of the actions taken by the Federal Government to reduce the emission of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. By Law n° 11.097/05 was implemented the regulatory framework of biodiesel, which is a renewable biofuel, and when added to diesel fuel reduces CO<sub>2</sub> emissions caused by the burning of it. The objective is to estimate the avoided CO<sub>2</sub> emissions due to substitution of diesel by biodiesel, both for a past period (2005-2012) and the future (2013-2017). In addition, the study intends to monetize the results obtained using as reference values for carbon credit. To estimate the avoided CO<sub>2</sub> emissions before it is estimated the demand curve of the diesel, from techniques of cointegration and Vector Error Correction (VEC), which allows estimating future consumption of diesel and biodiesel. The results were monetized with reference values of carbon credits, and compared with the extra expenses resulting from the substitution of diesel by biodiesel and health spending in Brazil. It was found that the avoided CO<sub>2</sub> emissions were increasing, both between 2005 and 2012 as between 2013 and 2017, reaching, in 2012, 1% of all Brazilian CO<sub>2</sub> emissions, and the monetization of avoided CO<sub>2</sub> emissions increases at a faster rate than spending on health in the country. It is noticed that the present results are shy, but show a progression and show that biodiesel is one possible way to reduce the growth of CO<sub>2</sub> emissions and improve air quality, which means that despite the cost, there is a reduction of negative externalities from burning diesel.

Key-words: Biodiesel. Avoided CO<sub>2</sub> emissions. Greenhouse effect. Externalities.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	O balanço energético médio global do sistema Terra-atmosfera	18
Figura 2:	Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera durante 400.000 anos antes do ano de 1950 (a) e Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera a partir de 1950 (b).	20
Figura 3:	Ciclo renovável de carbono na produção e uso de biocombustíveis	23
Gráfico 1:	Emissão de CO <sub>2</sub> por região do mundo em 2010	24
Gráfico 2:	Emissão mundial de CO <sub>2</sub> por setor em 2005	25
Gráfico 3:	Emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil: participação percentual por setor	27
Gráfico 4:	Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> no Brasil e no mundo	28
Gráfico 5:	Consumo mundial de energia	31
Gráfico 6:	Produção de petróleo no mundo por região	32
Gráfico 7:	Consumo de energia proveniente do petróleo no mundo por região	32
Gráfico 8:	Produção de biocombustíveis no mundo por região	33
Gráfico 9:	Produção de energia primária no Brasil	34
Gráfico 10:	Produção de energia primária no Brasil, por fonte (1970-2009)	35
Gráfico 11:	Consumo final de energia no Brasil por fonte	37
Gráfico 12:	Consumo energético e não-energético no Brasil, principais setores	38
Figura 4:	Externalidade negativa de consumo	47
Figura 5:	Externalidade negativa de produção	48
Figura 6:	Decisão de produção (a) e Curva de oferta e demanda de mercado (b)	51
Figura 7:	Externalidade negativa de consumo: custo marginal	53
Gráfico 13:	Série Consumo	75
Gráfico 14:	Série Preço Real	75
Gráfico 15:	Série Renda Real	76
Quadro 1:	Análise de cointegração com restrições ao VEC	93
Quadro 2:	Análise de estacionariedade com restrições ao VEC	93
Quadro 3:	Análise de exogeneidade com restrições ao VEC	94
Figura 8:	Cenários para o consumo estimado futuro de biodiesel	97
Gráfico 16:	Contratos firmados (jan/2008-set/2012) - <i>Ice ECX European Emissions Morn</i>	100
Gráfico 17:	Contratos firmados (jan/2008-set/2012) com vencimento em	101

dez/2012 – Ice ECX European Emissions Morn

Gráfico 18:	Contratos firmados (jan/2008-set/2012) com vencimento em dez/2012, dez/2013 e dez/2014 – <i>Ice ECX European Emissions Morn</i>	102
Gráfico 19:	Consumo do diesel e biodiesel, no setor de transporte brasileiro	104
Gráfico 20:	Emissões evitadas de CO <sub>2</sub> no transporte brasileiro em relação às emissões brasileiras totais de CO <sub>2</sub>	106
Gráfico 21:	Taxa de crescimento anual do consumo e emissão de CO <sub>2</sub> – diesel e biodiesel	109
Figura 9:	Emissões evitadas de CO <sub>2</sub> em decorrência do uso do etanol	110
Gráfico 22:	Emissões evitadas de CO <sub>2</sub> em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel associadas a taxas de crescimento da renda de 3%, 5% e 10%	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Estatísticas descritivas das séries	71
Tabela 2:	Testes de raiz unitária – série Consumo	78
Tabela 3:	Testes de raiz unitária – série Preço	79
Tabela 4:	Testes de raiz unitária – série Renda	80
Tabela 5:	Teste LM para VAR com K=4	86
Tabela 6:	Causalidade de Granger	95
Tabela 7:	Emissões de CO <sub>2</sub> e emissões evitadas de CO <sub>2</sub> pelo uso do diesel e biodiesel no setor de transporte brasileiro	105
Tabela 8:	Valor presente das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel	111
Tabela 9:	Benefício líquido com a substituição do diesel pelo biodiesel, no setor de transporte brasileiro	112
Tabela 10:	Monetização das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil	113
Tabela 11:	Valor presente das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel: B10	114
Tabela 12:	Benefício líquido com a substituição do diesel pelo biodiesel, no setor de transporte brasileiro: B10	115
Tabela 13:	Monetização das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: B10.	116
Tabela 14:	Estimativa das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017: taxa de crescimento da renda de 3% ao ano	117
Tabela 15:	Estimativa das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017: taxa de crescimento da renda de 5% ao ano	117
Tabela 16:	Estimativa das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017: taxa de crescimento da renda de 10% ao ano	117
Tabela 17:	Monetização das emissões evitadas de CO <sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: taxa de crescimento da renda de 3% ao ano	119

- Tabela 18: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no 120  
Brasil: taxa de crescimento da renda de 5% ao ano
- Tabela 19: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no 120  
Brasil: taxa de crescimento da renda de 10% ao ano

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2</b>	<b>EMISSIONES DE CO<sub>2</sub> E MATRIZ ENERGÉTICA</b>	17
2.1	EFEITOS DAS EMISSIONES DE CO <sub>2</sub>	17
2.2	PROTOCOLO DE QUIOTO E O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL	28
2.3	MATRIZ ENERGÉTICA INTERNACIONAL	31
2.4	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	34
2.4.1	<b>Biodiesel</b>	40
<b>3</b>	<b>EXTERNALIDADES E RECURSOS DE USO COMUM</b>	45
3.1	EXTERNALIDADES E EFICIÊNCIA DE MERCADO	45
3.2	RECURSOS DE USO COMUM	54
3.3	REGULAÇÃO	62
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	69
4.1	ANÁLISE PRELIMINAR PARA A CURVA DE DEMANDA ESTIMADA DO DIESEL	69
4.2	VETOR AUTORREGRESSIVO E A CURVA DE DEMANDA ESTIMADA DO DIESEL	83
4.2.1	<b>Estimativa da Demanda Futura do Diesel e do Biodiesel</b>	95
4.3	CÁLCULO DAS EMISSIONES EVITADAS DE CO <sub>2</sub> (2005-2012)	97
4.4	MONETIZAÇÃO DAS EMISSIONES EVITADAS DE CO <sub>2</sub>	99
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	104
5.1	EMISSIONES EVITADAS DE CO <sub>2</sub> (2005-2012)	104
5.1.1	<b>Cenário de Emissões Evitadas Passadas com B10</b>	113
5.2	EMISSIONES EVITADAS FUTURAS DE CO <sub>2</sub> (2013-2017)	116
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	122
	<b>REFERÊNCIAS</b>	126
	<b>APÊNDICES</b>	133

## 1 INTRODUÇÃO

O efeito estufa e o aquecimento global é uma das questões mais discutidas quando se trata de meio ambiente. Eles são consequência da acumulação de determinados gases na atmosfera, os chamados gases do efeito estufa (GEE). Entre eles estão o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Alguns cientistas afirmam que existem dois tipos de efeito estufa, o natural e o antrópico. O natural é o fenômeno decorrente da existência de gases na atmosfera que impedem a fuga de parte do calor que penetra na Terra por meio dos raios solares. O antrópico é aquele causado pelo aumento excessivo da quantidade de gases na atmosfera devido à ação humana. Na ocorrência deste último, destaca-se o padrão de produção e consumo estabelecido pela sociedade após a Revolução Industrial. Aqueles que defendem a existência deste último tipo de efeito estufa, afirmam que a intensificação desse fenômeno, além das consequências à saúde humana, provocou alteração no padrão de chuvas, das áreas agricultáveis, das temperaturas etc.

A queima de combustíveis fósseis é um dos fatos geradores de emissão de gases do efeito estufa na Terra. Apesar de o Brasil possuir uma matriz energética composta, aproximadamente, de 47% de fontes renováveis, e sua principal fonte de energia elétrica ser a hidráulica, que é uma fonte pouco poluente, a matriz de transporte brasileira é predominantemente fóssil. Este setor representa, em média, mais de 70% do consumo de combustíveis fósseis no Brasil, ou seja, de combustíveis que emitem gases do efeito estufa (GEE).

Com o transcorrer da década de setenta, e com os impactos do choque do petróleo, o panorama da produção de energia primária no Brasil passou por transformações. O II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) (1975-1979) - foi lançado pelo governo como uma reação ao primeiro choque do petróleo. No tocante à energia, o plano buscava a ampliação das pesquisas na área do petróleo e diversificação da matriz energética brasileira a partir de investimentos em fontes alternativas, como por exemplo, o álcool e a energia nuclear.

O uso do biodiesel é uma das ações adotada, recentemente, pelo Governo Federal brasileiro no sentido de diversificar a matriz energética e, paralelamente, mitigar os impactos negativos das emissões de GEE ao meio ambiente e à população. Mas cabe ressaltar que ele é um biocombustível utilizado em diversos países do mundo, entre eles a Alemanha - que é o maior produtor mundial - inclusive com incentivos fiscais para estimular a produção e consumo. No Brasil, existe o incentivo à produção por meio de medidas fiscais, que variam de acordo com o produtor, e com o local e tipo de matéria-prima utilizada, de forma a garantir que o consumo obrigatório seja cumprido.

O biocombustível foi introduzido na matriz energética brasileira, de forma facultativa em 2005, e de forma obrigatória em 2008. Ele é capaz de substituir o diesel, pelo menos parcialmente (com o padrão tecnológico estabelecido), e emite menor quantidade de gases do efeito estufa. Dessa forma, entende-se que é importante uma avaliação dos efeitos do marco regulatório do biodiesel, a fim de observar os avanços obtidos até o momento, em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, e também quais as perspectivas para os próximos anos.

Acredita-se que as questões supracitadas são importantes devido à percepção da importância da substituição das fontes de energia baseadas nos derivados de petróleo por combustíveis “limpos”, derivados de fontes renováveis de energia, como, por exemplo, os biocombustíveis, a energia eólica e a energia solar. (MAIA *et al.*, 2008).

O objetivo do trabalho é estimar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel, tanto para um período passado (2005-2012), como para o futuro (2013-2017). Além disso, realiza-se um exercício para observar os resultados caso fosse utilizado 10% de biodiesel (B10) desde o início do marco regulatório até o final de 2012. Por fim, o trabalho monetiza os resultados obtidos utilizando como referência valores de crédito de carbono.

Para atingir os objetivos aqui propostos, a metodologia do trabalho parte de uma contextualização a respeito de questões ligadas ao efeito estufa e a matriz energética (mundial e brasileira). Em seguida, é feita uma revisão de literatura sobre externalidades, recursos de uso comum e regulação. Após a etapa eminentemente teórica, a curva de demanda do diesel é estimada em um modelo de séries temporais com cointegração. Assim, utiliza-se um Vetor de



Correção de Erros (VEC) para se chegar à curva de demanda estimada do diesel e são construídos cenários para diferentes possibilidades de crescimento futuro.

Na etapa seguinte, o trabalho apresenta os cálculos que constam as emissões evitadas pelo uso do biodiesel entre 2005 e 2012, e a estimativa de emissões evitadas futuras entre 2013 e 2017. Fez-se também um exercício supondo que no período entre 2005 e 2012 tivesse sido utilizado o B10. O trabalho usa o biodiesel de soja como referência, adotando a simplificação de que todo biodiesel consumido no Brasil é produzido a partir da soja.

Posteriormente, apresenta a monetização das emissões evitadas utilizando valores de créditos de carbono como referência. Em seguida, calcula-se o Valor Presente (VP), com diferentes taxas de desconto, já que não existe um consenso entre os economistas a respeito de que taxa deve ser utilizada.

Assim, além desta introdução, este trabalho está dividido em quatro capítulos e algumas considerações finais. O primeiro capítulo descreve como ocorre o efeito estufa natural e apresenta diferentes aspectos do efeito estufa antrópico. Mostra ainda, o quão é negativo para a sociedade, independente da questão do aquecimento global, o excesso de emissão de gases do GEE. O mesmo capítulo apresenta ainda as principais alterações ocorridas na matriz energética internacional e brasileira nos últimos quarenta anos e um breve resumo do marco regulatório do biodiesel no Brasil.

O segundo capítulo faz uma revisão de literatura a respeito de externalidades, recursos de uso comum e regulação, com o objetivo de dar subsídios teóricos para a discussão do impacto das emissões sobre a sociedade, e quem deve responsabilizar-se por elas. É importante a percepção de que as externalidades levam a ineficiência de mercado, independente de serem positivas ou negativas. E, na utilização dos recursos de uso comum cabe observar que muitas vezes, a regulação, independente da forma como é feita, faz-se necessária para evitar a escassez do recurso.

No terceiro capítulo é detalhada a metodologia utilizada no trabalho. Para a estimação da curva de demanda do diesel no Brasil, utiliza-se consumo do combustível, preço real do combustível e renda real (PIB) como variáveis. Neste capítulo analisa-se a estacionariedade

das séries, a cointegração entre elas e, por meio de um VEC, foi possível testar a existência e avaliar os parâmetros das relações de longo prazo. Nas etapas subsequentes da metodologia, ou seja, a estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e a monetização dos resultados encontrados utiliza-se como referência um trabalho da EPE que trata da emissão de gases provenientes do diesel e do biodiesel, e também valores de crédito de carbono no mercado voluntário, divulgados no sítio da *Intercontinental Exchange (Ice)*.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados encontrados, ou seja, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do uso do biodiesel no transporte brasileiro, bem como a estimativa de emissões evitadas futuras de CO<sub>2</sub> em três diferentes cenários construídos para os próximos cinco anos. Apresenta-se também, um comparativo da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> entre 2005 e 2011 e os gastos com saúde no Brasil.

Ao final do trabalho, apresentam-se as considerações finais e indicações de pesquisas futuras.

## 2 EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E MATRIZ ENERGÉTICA

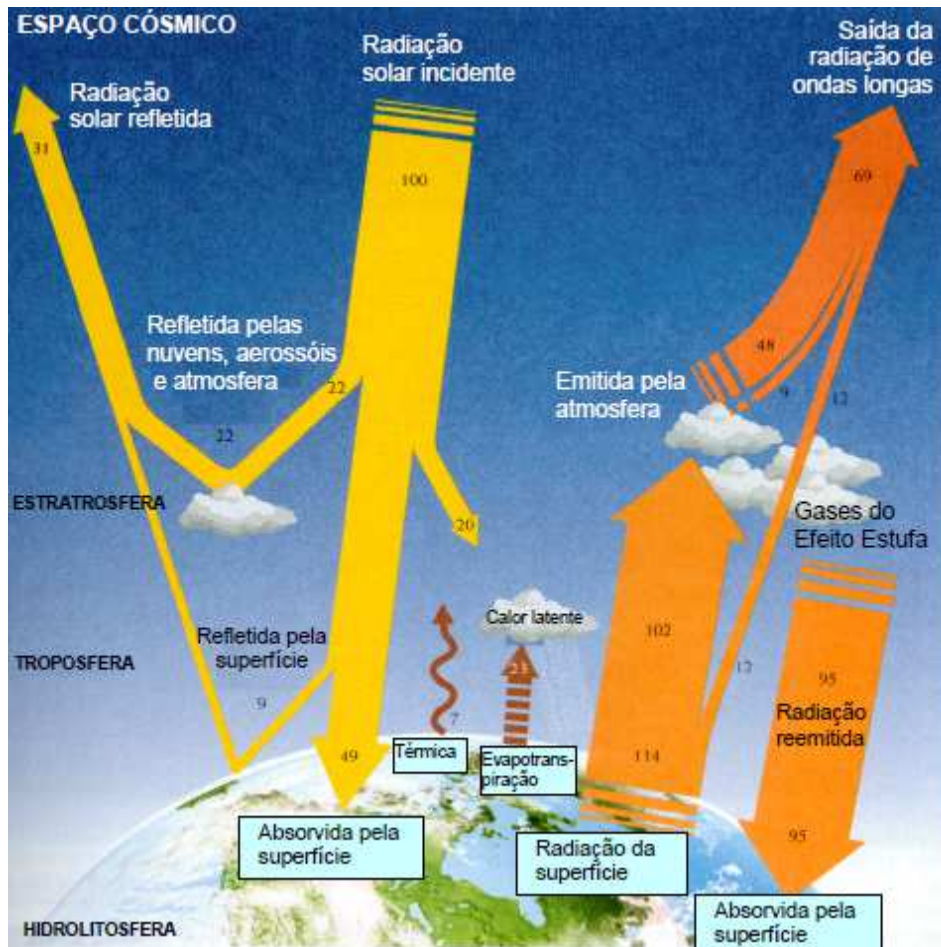
O primeiro capítulo desse trabalho faz uma contextualização a respeito de algumas questões ligadas à emissão de CO<sub>2</sub>. Não tem o objetivo de adentrar em questões polêmicas como, por exemplo, detalhes a respeito do aquecimento global, mas sim, de apresentar algumas das consequências das emissões, bem como localizar quais as regiões do mundo e quais os setores, do mundo e do Brasil, que mais contribuem com essa emissão. Diante disso, o capítulo apresenta, também, de forma geral, a matriz energética mundial e brasileira.

Na primeira seção, são apresentados alguns dos efeitos das emissões de CO<sub>2</sub>, bem como quais as regiões do mundo que mais emitem CO<sub>2</sub> e também quais os setores que mais contribuem com a emissão do gás. A segunda sessão é apresentada de forma breve, com o objetivo de situar o leitor a respeito do que é o Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A terceira seção expõe as principais características da matriz energética mundial e, de forma análoga, a quarta sessão encerra o capítulo com as características da matriz energética brasileira e um subitem para detalhar o biodiesel, biocombustível que é tratado ao longo do trabalho.

### 2.1 EFEITOS DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

Uma das características da atmosfera terrestre é o aprisionamento de calor proveniente do sol, que tem sua origem na própria dinâmica natural do planeta (MENDONÇA, 2003). A energia solar que incide sobre a terra é da ordem de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh/ano. Desse total, 0,02% são armazenados nas plantas através do processo de fotossíntese. Essa energia é aproximadamente 10 vezes maior que o consumo de energia do planeta (EPE, 2007). A Figura 1 mostra as principais energias incididas e refletidas na atmosfera.

Figura 1: O balanço energético médio global do sistema Terra-atmosfera



Fonte: GRAEDEL; CRUTZEN, 1997 *apud* MATTOS, 2001

Nota: Os números apresentados são percentuais da energia da radiação solar incidente

É importante lembrar que o efeito estufa, *a priori*, é um fenômeno natural e benéfico à vida. Deriva da formação de uma espécie de “capa protetora” invisível, decorrente da atuação de determinados gases presentes na atmosfera terrestre (dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>; metano – CH<sub>4</sub>; e óxido nitroso – N<sub>2</sub>O). Essa “capa” permite a passagem dos raios solares, mas retém grande parte da radiação refletida pela superfície terrestre, impedindo sua dispersão no espaço e consequentemente aquecendo o planeta. Em decorrência da retenção do calor, o fenômeno é denominado “efeito estufa” (MAIA *et al.*, 2008).

O fato de parte dessa radiação ser absorvida na atmosfera e provocar o aumento da temperatura do ar é importante para a vida humana. Isso permite que a temperatura média da atmosfera terrestre seja de 15° C. Caso não houvesse esses gases na atmosfera, a temperatura média da Terra seria 33° C menor, ou seja -18° C, o que inviabilizaria a vida atualmente existente (CERRI, 2007).

Alguns cientistas afirmam que existem dois tipos de efeito estufa, o natural e o antrópico. O natural é o fenômeno descrito anteriormente, e o antrópico é aquele causado pelo aumento excessivo da quantidade de gases na atmosfera devido à ação humana.

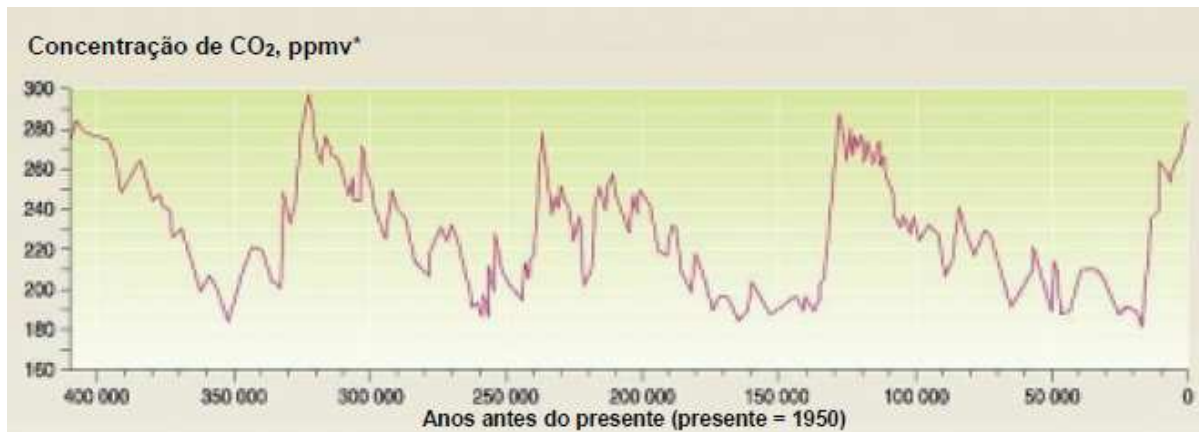
O acontecimento que vem, nas últimas décadas, despertando preocupação da sociedade é a intensificação do aquecimento da baixa atmosfera, particularmente da troposfera, a camada sobre a qual se voltam os estudos da climatologia atuais. Mesmo tendo origem natural, o aquecimento observado na contemporaneidade, tratado no âmbito das discussões das mudanças globais, parece estar diretamente vinculado às atividades humanas. (MENDONÇA, 2003).

Assim, vem se atribuindo o aumento atípico da temperatura do planeta às atividades antrópicas, ou seja, àquelas realizadas pelo ser humano, resultantes do crescimento econômico e demográfico nos últimos dois séculos. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera da terra estaria provocando alterações irreversíveis do clima, e as consequências poderão ser catastróficas (MAIA *et al.*, 2008).

Tal acúmulo têm se acentuado a partir do advento da Revolução Industrial. Fazendo um comparativo entre o final do século XVIII e o ano de 2011, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou de 280 ppm (partes por milhão na atmosfera) (SANTOS, 2007) para 391 ppm (IPCC, 2013). Nesse mesmo ano, a concentração de metano era de 1.803 ppb (partes por bilhão) e a de óxido nitroso era 324 ppb, o que significa um aumento de 150% e 20%, respectivamente, comparando com a concentração existente no final do século XVIII (IPCC, 2013).

A Figura 2 (a) mostra que partindo de 1950 e voltando 400.000 (quatrocentos mil) anos no tempo, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera passa por muitas oscilações, mas mantém-se distante do patamar atual. A Figura 2 (b) mostra a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera a partir de 1950. Com a observação desse horizonte temporal, é possível afirmar que o aumento da concentração ocorrido a partir da revolução industrial foi muito rápido, e atingiu um patamar proporcionalmente muito mais alto.

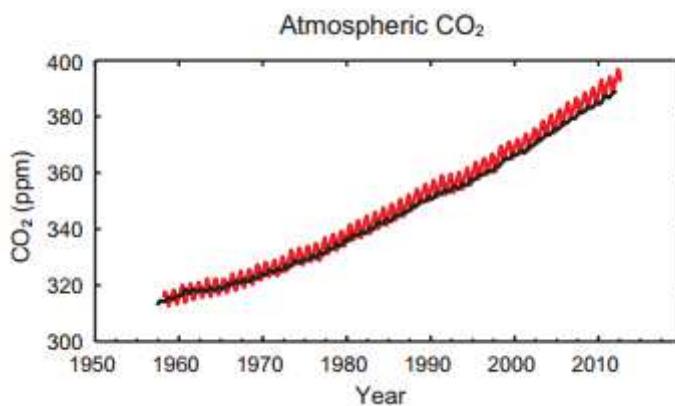
Figura 2: (a) Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante 400.000 anos antes do ano de 1950



Nota: \*ppmv - parte por milhão em volume.

Fonte: Informações do núcleo de gelo de Vostok, na Antártica PETIT e outros , 1999 *apud* MATTOS, 2001

(b) Concentração de CO<sub>2</sub> na Atmosfera a Partir de 1950



Fonte: IPCC, 2013

As atividades antrópicas também acrescentaram outros gases com esta mesma propriedade na atmosfera, como por exemplo, os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Estes, somados aos já citados dióxido de carbono –(CO<sub>2</sub>), bem como, do metano- CH<sub>4</sub> e óxido nitroso – N<sub>2</sub>O, constituem os chamados “*gases do efeito estufa*” (GEE) (MAIA *et al.*, 2008).

A maior parte da comunidade científica<sup>1</sup> defende que o padrão de produção e consumo da sociedade moderna tem intensificado o efeito estufa em curso no planeta Terra. As ações

<sup>1</sup>Existe um grupo de cientistas que defendem que as alterações climáticas ocorridas nas últimas décadas fazem parte dos ciclos normais do sistema climático. (CONTI, 2011). Eles reconhecem uma mudança no padrão recente dos fenômenos climáticos, mas afirmam que não existe uma constatação anômala quando se observa o

humanas vêm modificando a quantidade de gases de aquecimento na alta troposfera a partir de aumento na emissão de GEE e destruição da camada de ozônio estratosférico (MENDONÇA, 2003).

As alterações na quantidade de GEE e de aerossóis na atmosfera, assim como na radiação solar e nas propriedades da superfície do planeta modificam o equilíbrio energético do sistema climático (ROCHA, 2003). Dessa forma, o aquecimento global provoca consequências a partir das mudanças climáticas, entre elas, distribuição irregular de chuvas, aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera, aumento do nível do mar (CERRI, 2007).

Além das consequências citadas, as mudanças climáticas provocam impactos negativos à saúde humana. Elas afetam mais diretamente as doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias. (BARCELLOS *et al.*, 2009) Diante de calor elevado, algumas doenças tendem a diminuir sua ocorrência, no entanto, o que deve ocorrer com maior frequência é o aumento da incidência de doenças, destacadamente as transmissíveis e infecciosas, como, por exemplo, cólera, malária e dengue. Além disso, a ampliação de áreas mais aquecidas para latitudes e altitudes mais elevadas resulta em maior área geográfica atingida por estas doenças (MENDONÇA, 2003). De acordo com Santos (2007) ocorrem 154 mil óbitos por ano devido às alterações climáticas.

É fato que a revolução industrial e a mudança no padrão do consumo aumentaram, significativamente, a quantidade e os tipos de gases poluentes no ar e uma das consequências disso é a chuva ácida. A nova forma de divisão social do trabalho estabelecida concomitantemente ao processo de urbanização das sociedades provocou um aumento da deterioração das condições ambientais, inclusive, da qualidade do ar.

O ar é classificado pelos químicos como uma mistura, e não apresenta uma quantidade exata de cada um de seus elementos. No entanto, possui uma referência da participação de cada componente. Apesar do dióxido de carbono fazer parte da composição natural do ar, a presença dele em excesso faz com que a respiração dessa mistura tenha implicações negativas

---

passado histórico e geológico. Fato que impede de afirmar que elas são consequência da ação humana (SUGUIO, 2012).

à saúde humana<sup>2</sup>. De acordo com Souza (2012), apesar de alguns autores classificarem o CO<sub>2</sub> como gás inerte, ele deve ser considerado um gás tóxico, porque altera as trocas gasosas a nível alveolar mesmo na presença de níveis normais de oxigênio.

Existem ainda outros gases provenientes da queima de combustíveis derivados de petróleo, como, por exemplo, o monóxido de carbono, que são prejudiciais à saúde humana (MAZIERO *et al.*, 2006). De acordo com Vitiello (2012), a poluição atmosférica das grandes cidades é responsável por graves consequências provocadas à saúde pública.

Estudos realizados no campo da saúde pública têm comprovado que a poluição do ar eleva o risco de doenças e da mortalidade por doenças cardiovasculares, respiratórias e por câncer de pulmão. Estima-se que, por ano, aproximadamente, 800 mil óbitos sejam decorrentes da poluição do ar ambiental e 1,6 milhão da poluição do ar no interior dos domicílios (SANTOS, 2007).

A partir do momento que a comunidade científica evidenciou consequências negativas do aumento de determinados gases na atmosfera, sejam elas relacionadas à elevação média da temperatura do planeta, a elevação média da temperatura de cidades específicas, ou a problemas relacionados à saúde pública, tornou-se relevante estudar quais são hoje as principais fontes de emissão desses gases, e possíveis formas de mitigá-las.

O uso de combustíveis fósseis, como também a mudança no uso da terra, estão entre os principais responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Já as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) possuem como principal ator a agricultura e a pecuária. (ROCHA, 2003).

Este trabalho tem por foco as emissões de gases poluentes decorrentes da utilização de combustíveis fósseis, mais especificamente o uso do diesel no setor de transporte, visto que, de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional, este ramo é o responsável por, em

---

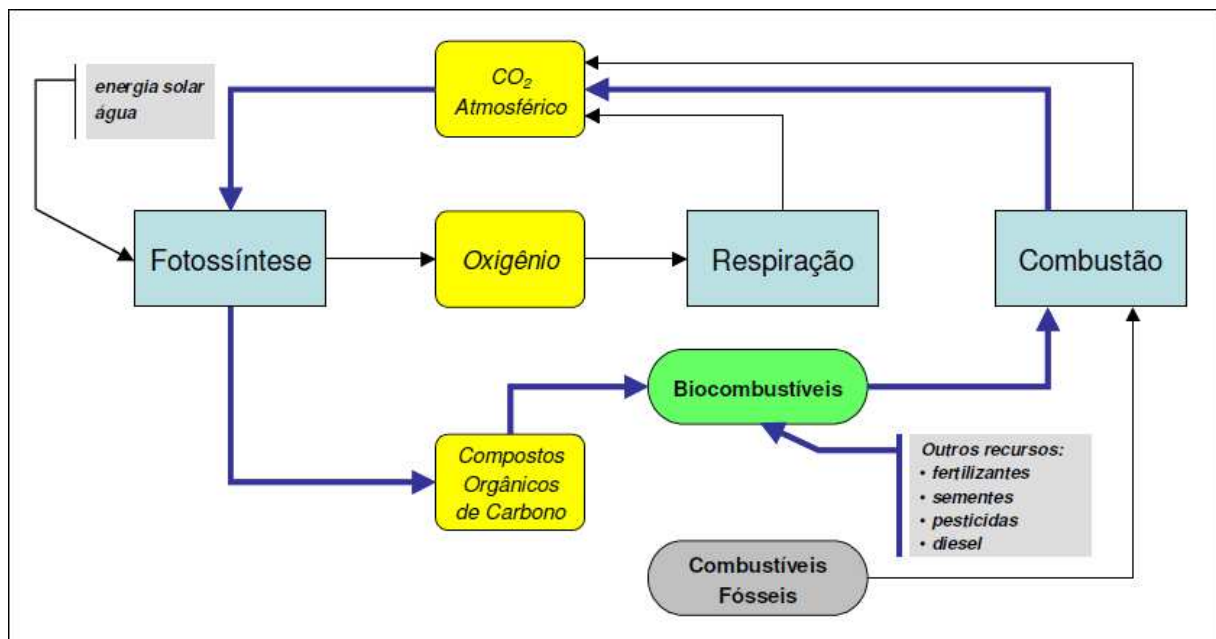
<sup>2</sup>Cabe observar que um meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito garantido no artigo 225 da Constituição Federal de 1988. O dispositivo determina ainda que é dever, tanto do poder público como dos membros da sociedade preservar o meio ambiente, buscando uma melhoria na qualidade de vida da geração presente e também das vindouras.



média, mais de 70% do consumo desses combustíveis. Além disso, é por meio deste setor que o governo tem feito, nas últimas décadas, tentativas de alterar o padrão consumo de combustíveis, por meio da criação de leis que obrigam o uso de biocombustíveis, com o propósito de aumentar a segurança energética e reduzir a emissão de GEE.

De forma geral, os biocombustíveis, além de emitirem uma quantidade menor de CO<sub>2</sub> quando são queimados, são responsáveis pela captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera em seu ciclo de produção. O ciclo renovável de carbono na produção e uso dos biocombustíveis pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Ciclo renovável de carbono na produção e uso de biocombustíveis



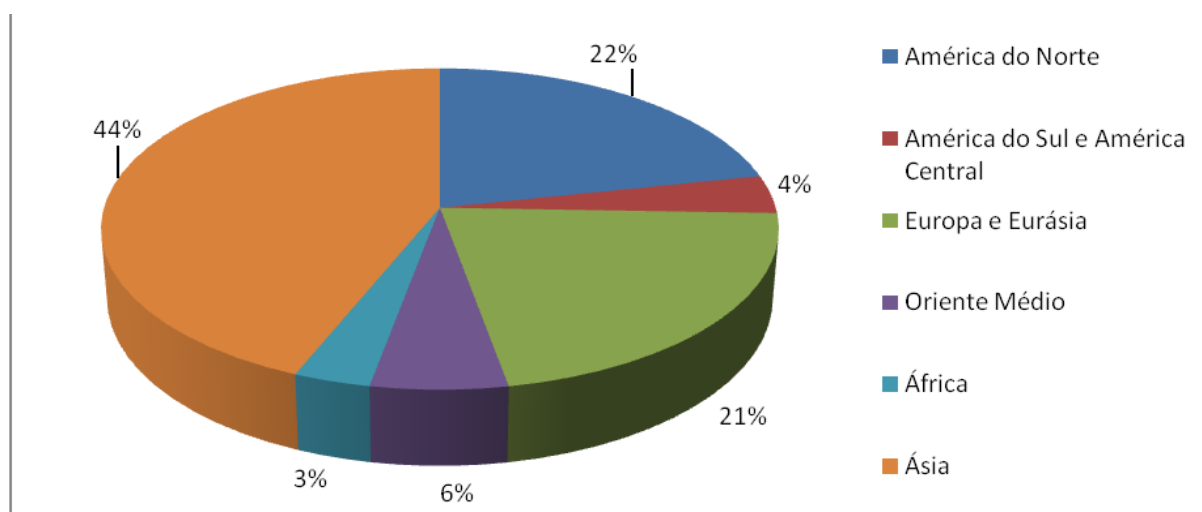
Fonte: EPE, 2007

É importante entender que a matéria-prima utilizada na produção do biocombustível influencia na quantidade de CO<sub>2</sub> que será emitido e também na produção de resíduos. Portanto, o mesmo biocombustível pode ter diferentes impactos no controle de emissão de gases (EPE, 2007). Mas, independente da matéria-prima utilizada, os biocombustíveis têm sido cada vez mais valorizados no mundo todo, por ser uma fonte de energia menos poluente e, portanto, um instrumento de minimização das consequências negativas do excesso de poluição atmosférica.

Ademais, para as estimativas realizadas neste trabalho, utiliza-se o CO<sub>2</sub> equivalente como unidade de referência. Diferentes gases podem ter o seu potencial de aquecimento convertidos para o potencial de aquecimento do CO<sub>2</sub>. No trabalho da Empresa de Planejamento Energético (EPE, 2007), utilizado como referência neste trabalho, destaca-se, além do CO<sub>2</sub>, o potencial de aquecimento do metano (CH<sub>4</sub>) e do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), apesar de enumerar todos os gases durante a análise de ciclo de vida. Portanto, ao longo do trabalho, quando se trata de redução de emissão de CO<sub>2</sub>, faz-se referência a esses três gases.

Como pode ser visto no Gráfico 1, a região que lidera a emissão de gás carbônico no mundo é a Ásia, seguida pela América do Norte, Europa e Eurásia, Oriente Médio, América do Sul e Central e, por fim, a África.

Gráfico 1: Emissão de CO<sub>2</sub> por região do mundo em 2010



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados da BP, 2011

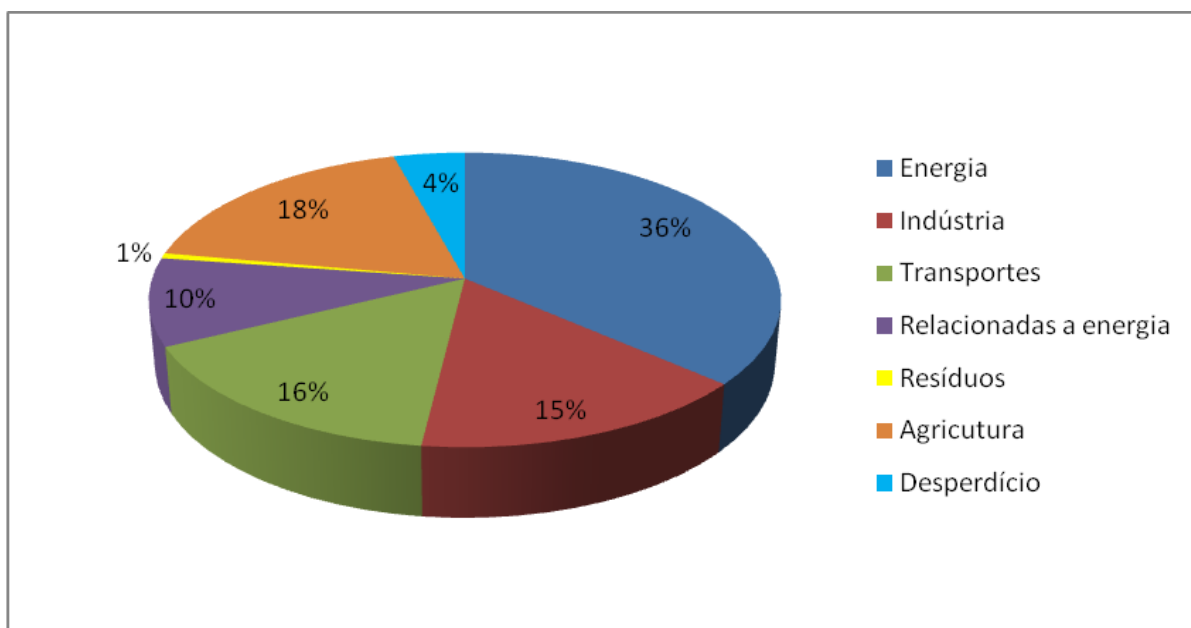
Neste panorama, pode-se destacar a participação da China, que faz com que a região asiática tenha ênfase em relação às demais. Mais da metade do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido pela Ásia é proveniente da China. Este país vem crescendo de forma bastante elevada nos últimos anos, todavia, é fato que tal arrojo não está relacionado à preocupação com a utilização de fontes de energia limpa. Contudo, diante da sua dimensão territorial, populacional e, principalmente, econômica, deve crescer o debate e as pressões sobre esta nação. Como será mostrado mais a frente, o carvão tem papel relevante no nível de emissões de CO<sub>2</sub> da China.

Como também é de se esperar, o destaque na América do Norte são os Estados Unidos, o segundo maior emissor de CO<sub>2</sub> do mundo, e que não aderiu ao protocolo de Kyoto. O país sempre teve o posicionamento claro de que atividade econômica acelerada é prioridade em relação a questões ambientais.

De acordo com o IPCC, o setor de transportes está sempre em crescimento visto que é atrelado à variação do PIB e da população. Entre 1970 e 2004 o setor de transporte foi o que teve o segundo maior aumento de emissões diretas de GEE, 120%, superado apenas pelo setor de oferta de energia, 145%. O terceiro lugar foi ocupado pela indústria, 65%, e o quarto, pelo uso da terra e mudança no uso da terra e florestas, 40% (ALLEY *et al*, 2007).

O Gráfico 2 mostra a participação dos setores na emissão mundial de CO<sub>2</sub>, no ano de 2005:

Gráfico 2: Emissão mundial de CO<sub>2</sub> por setor em 2005



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 com dados do CLIMATE ANALYSIS [INDICATORS TOOL - WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2012

A partir do Gráfico 2 é possível constatar que o setor de transporte, além da alta taxa de crescimento nas emissões, é responsável por uma quantidade importante de emissões de CO<sub>2</sub>, 16%, estando atrás apenas do setor energético, 36%. Quanto a isso cabe observar:

Não há soluções simples para combater os elevados e crescentes índices de emissões de GEE do setor dos transportes mundial. Para se atingir reduções consideráveis das

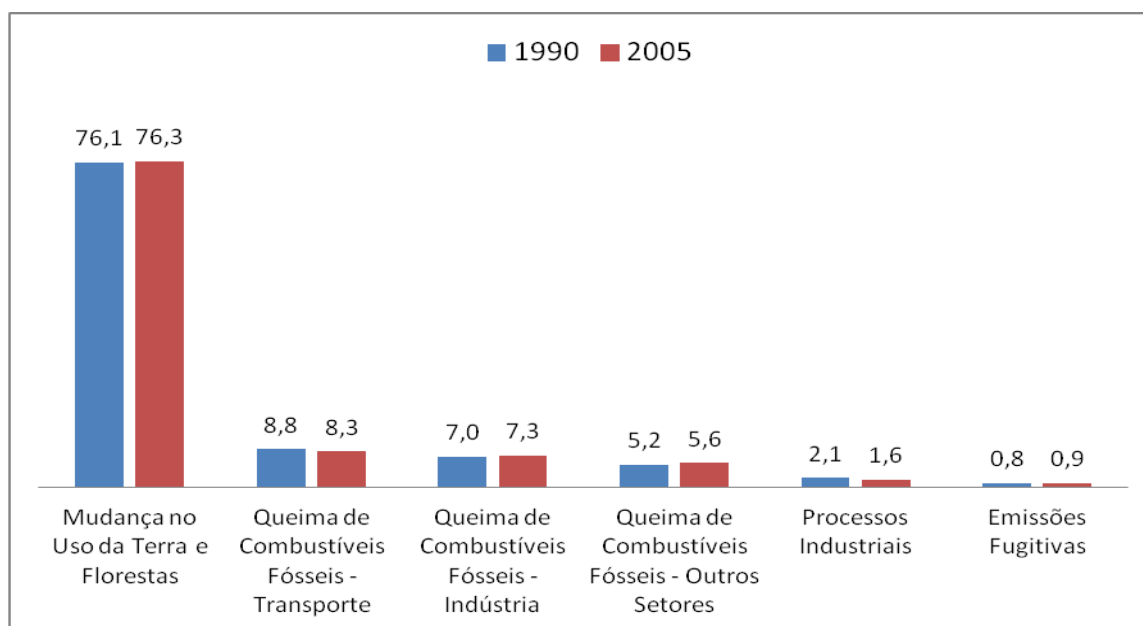
emissões de GEE no setor de transportes, o mesmo deve superar muitos desafios institucionais e também de infraestrutura, incluindo desde a baixa elasticidade do preço do combustível por proprietários de veículos de passageiros; demandas cada vez mais crescentes por viagens pessoais, aéreas e de mercadorias; dificuldades de se tornar viável economicamente combustíveis de baixo carbono; e também a comercialização em larga escala de tecnologias de motores mais eficientes e de menor cilindrada. (LUTSEY; SPERLING, 2008 *apud* GALBIERE; SIMÕES, 2012).

Assim, ocorrendo dentro de uma forma de produção adequada, os biocombustíveis podem ocupar espaço importante na tarefa de reduzir as emissões provenientes do setor de transporte. Estima-se que, sendo utilizados misturados a gasolina ou ao diesel, eles passem a representar, em 2030, cerca de 5% da energia demandada pelo setor de transporte (ALLEY *et al.*, 2007).

Apesar do ritmo lento, a intensidade energética média por tonelada-quilômetro de viagem no transporte rodoviário de carga (caminhões) diminuiu aproximadamente 10% no período compreendido entre 1990 e 2005. No entanto, o fato que poderia representar uma redução de emissões foi neutralizado pelo aumento no número de viagens em uma taxa maior que a melhoria de eficiência (IEA, 2008b *apud* GALBIERE; SIMÕES, 2012).

Cabe destacar que, a redução das emissões provenientes do setor de transporte, que podem ou não ser consequência de um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), proporcionam uma melhoria da qualidade do ar e conseqüentemente da saúde da população. Além disso, gera um aumento da segurança energética, por diversificar a matriz energética e reduzir a dependência em relação ao petróleo.

Nesse contexto de redução das emissões, o Brasil possui pontos positivos. Além de sua estrutura natural que favorece a captura do CO<sub>2</sub> emitido, o país tem desenvolvido e ampliado o uso de biocombustíveis, estabelecendo, inclusive, a obrigatoriedade da mistura do álcool à gasolina e do biodiesel ao diesel. O Gráfico 3 apresenta um comparativo entre os anos de 1990 e 2005 das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil, por setor.

Gráfico 3: Emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: participação percentual por setor

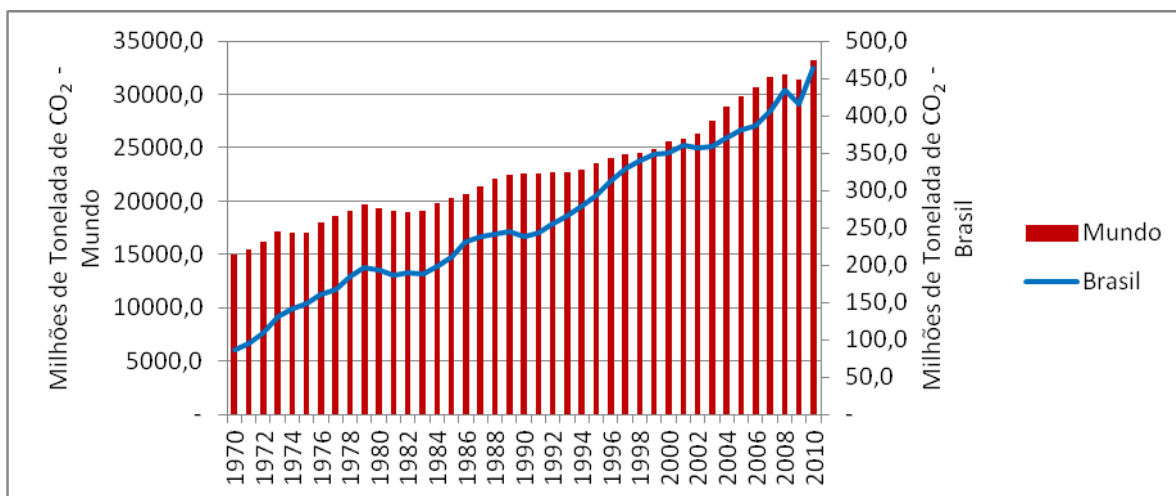
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do BRASIL, 2009

É possível constatar que, ao menos em um período recente, o padrão de emissão por setor pouco se altera no transcorrer dos anos. Nota-se que o potencial da área verde brasileira em relação à captura de CO<sub>2</sub> está subaproveitado, e o forte desmatamento tem sido responsável por parcela significativa das emissões do gás. A queima de combustíveis fósseis é o segundo maior responsável pelas emissões, e é este ponto que o trabalho concentra suas análises.

No Inventário<sup>3</sup> realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, entende-se que o setor de Emissões Fugitivas compreende emissões durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e também, durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural. Inclui-se no setor de Processos Industriais emissões antrópicas que resultam de processos produtivos na indústria que não utilizam combustíveis fósseis. O setor Mudança no Uso da Terra e Florestas engloba perda ou ganho de carbono, tanto na biomassa aérea como no solo (BRASIL, 2009).

A seguir, o Gráfico 4 apresenta a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pelo Mundo e pelo Brasil no período entre 1970 e 2010.

<sup>3</sup> O Inventário foi organizado de acordo com a estrutura indicada pelo *Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC)*.

Gráfico 4: Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil e no mundo

Nota 1: Aqui são retratadas as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de petróleo, gás e carvão; e são baseados em fatores médios de conversão.

Fonte: Elaborado pela autora, 2013 partir de dados da BP, 2011

É possível notar que as emissões brasileiras crescem de forma quase contínua. Alguns dos pontos de inflexão podem ser explicados pelo segundo choque do petróleo e pela crise econômica iniciada no segundo semestre de 2008. É possível notar que o “movimento” do gráfico realizado na representação das emissões mundiais é acompanhado pelas emissões brasileiras, indicando que as tendências nos fatores que provocam as emissões são fortemente globalizadas, e influenciadas, destacadamente, por questões da economia.

De acordo com os dados da *British Petroleum* (BP) (2011), em 2010, a emissão brasileira correspondeu a 1,4% da mundial. Já o seu PIB, de acordo com dados fornecidos pelo Banco Mundial, neste mesmo ano, representou 3% do mundial. No período representado pelo Gráfico 4, as emissões mundiais aumentaram 121% e as brasileiras 435%, o que indica um forte crescimento da economia do país.

## 2.2 PROTOCOLO DE QUIOTO E O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL

Nas últimas duas décadas, não só a capacidade de gerar energia, mas também a poluição provocada pela energia gerada têm sido motivo de debate entre países do mundo todo. A quantidade crescente de emissão de gases que provocam o efeito estufa (GEE) passou a preocupar os países, que realizaram em 1988, na cidade de Toronto, no Canadá, a primeira reunião internacional que possibilitou, em 1997, a assinatura do Protocolo de Quioto. O

objetivo era estabelecer regras às intervenções humanas no clima, no período entre 2008 e 2012. O acordo não só estabeleceu metas, mas também possibilitou o uso de mecanismos de mercado para facilitar que os países cumpram suas metas de redução de emissões de GEE estabelecidas no Apêndice B<sup>4</sup> do Protocolo (UNFCCC, 2011 *apud* PORTO; CORREIA, 2012).

Mesmo com a adesão de diversos países, o Protocolo ainda é visto com certo ar de incredibilidade. Um dos motivos é o fato de, em 2001, os Estados Unidos terem deixado o Protocolo. De acordo com dados da BP (2011), esse país é o segundo no ranking de poluidores, representando 18,5% do CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera<sup>5</sup>, ficando atrás apenas da China, com 25,1%. Apesar disso, as discussões prosseguem em busca de adesões na efetivação dos sistemas de redução de CO<sub>2</sub>.

Os países foram divididos em dois grupos. Em um grupo é denominado de Apêndice 1 (A1), composto com os países de maior nível de industrialização e de emissões de CO<sub>2</sub>. Os que apresentam economias com menor grau de industrialização e também menor nível de emissão de CO<sub>2</sub> compõem o outro grupo, o não Apêndice A.

Os países do A1 assumiram o compromisso de reduzir suas emissões no período entre 2008 e 2012 e decidiram que no ano final tomariam então uma decisão do que aconteceria desta data em diante. Entretanto, a decisão foi mais uma vez adiada. Os menos poluidores também foram incentivados a isso, mas sem uma obrigatoriedade.

No âmbito do Protocolo de Quioto, foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Ele permite que um país que tenha dificuldade de cumprir sua meta de redução de emissões de CO<sub>2</sub> possa financiar projetos com esse fim implantados em outros países. Assim criou-se o crédito de carbono.

O país que emitiu mais CO<sub>2</sub> do que deveria, compra a não emissão efetuada em outro país. Dessa forma, os países que não possuem meta de redução de emissão estabelecida, também

---

<sup>4</sup> O Protocolo de Quioto traz o Apêndice B listando os compromissos quantificados de limitação ou redução de emissões de todos os países do A1, com exceção de Belarus e Turquia, os quais não eram partes da Convenção no momento de adesão ao Protocolo (OLIVEIRA, 2004 *apud* PORTO; CORREIA, 2012).

<sup>5</sup> As emissões totais aqui são retratadas as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de petróleo, gás e carvão; e são baseados em fatores médios de conversão.

recebem um incentivo a realizarem projetos<sup>6</sup> dessa natureza. Ressalta-se que os projetos devem ser devidamente registrados na United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

Os créditos de carbono podem ser negociados tanto em bolsas como em mercado de balcão. Apesar de o Brasil ter acesso a venda de crédito de carbono apenas por meio do MDL, optou-se por adotar valores de referência internacional. Nessa escala, pode-se destacar na comercialização desses créditos a *Chicago Climate Exchange* (CCX). Criada nos Estados Unidos, em 1992, é um mercado regulado em operação voluntária. Além de primeira, é a única empresa a negociar a redução de emissões no país. As empresas participantes comprometem-se a reduzir suas emissões em determinado nível, durante um período determinado. Lançou na Europa, em 2005, a *European Climate Exchange* (ECX) que lidera o sistema no continente. Desde 2006, CCX e ECX pertencem à *Climate Exchange Plc*, uma empresa pública listada na AIM (mercado secundário para empresas pequenas) (PORTO; CORREIA, 2012; PERERA, 2009).

Existem, em dezembro de 2013, 7.418 projetos de MDL registrados. Os três primeiros países no ranking de projetos registrados, China (3.735), Índia (1.470) e Brasil (319) representam, aproximadamente, 75% do total de projetos de MDL registrados (UNFCCC, 2013).

Apesar da relevância do setor de transporte, ainda em dezembro de 2013, apenas 29 projetos de MDL, ou seja, 0,3% dos projetos correspondem a projetos aprovados por esse setor na UNFCCC – Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças do Clima, sendo um deles referente a biodiesel (UNFCCC, 2013).

Para que um projeto seja elegível no âmbito do MDL, é necessário que ele esteja de acordo com a Convenção, e siga alguns critérios. Destaca-se a adicionalidade, que estabelece que o projeto deve reduzir emissões antrópicas de GEE ou remover o CO<sub>2</sub> da atmosfera, de forma que o fato não ocorreria caso o projeto não existisse. Ademais, o projeto só é registrado como MDL se comprovado que ele só acontece diante da expectativa de recursos financeiros extras

---

<sup>6</sup>Como exemplo, pode-se citar o projeto “Plant-Oil Production for Usage in Vehicles” (Paraguai), que busca a substituição de uma parcela do óleo diesel utilizada no setor de transportes por biodiesel produzido a partir de diferentes óleos vegetais. O projeto foi aprovado como MDL porque consiste no uso marginal do biocombustível, em consequência dos custos elevados do biocombustível, tornando a produção do mesmo não-atrativa financeiramente (UNFCCC, 2013).



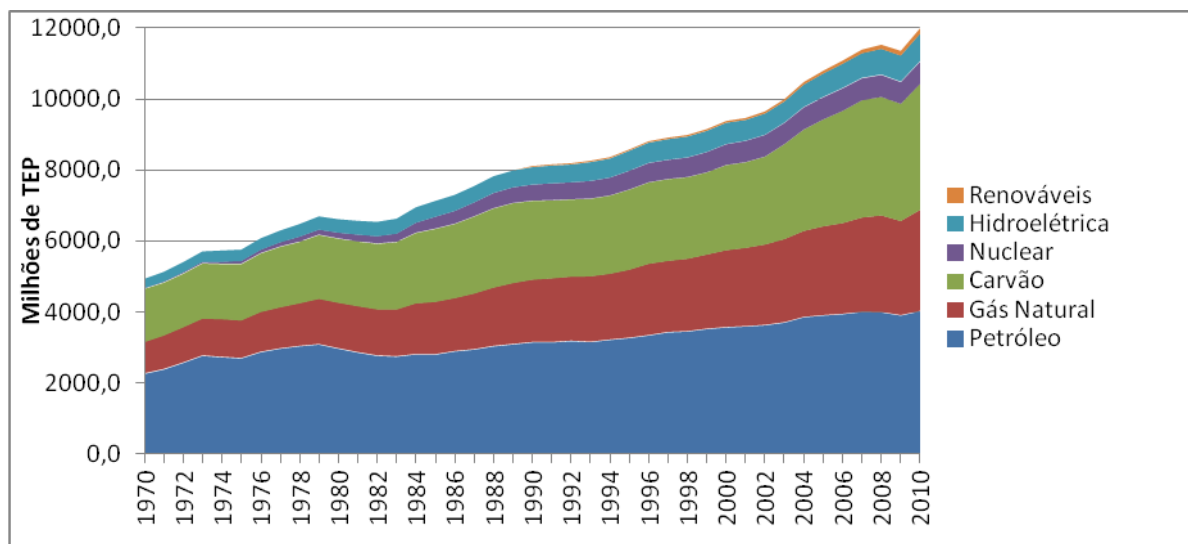
(“créditos de carbono”) (FRONDIZI, 2009). Para se ter maior clareza dos impactos do projeto, é importante o conhecimento da matriz energética do local onde ele vai ser implantado.

### 2.3 MATRIZ ENERGÉTICA INTERNACIONAL

A matriz energética mundial tem se diversificado ao longo do tempo, mas, apesar das mudanças, o petróleo, o gás natural e o carvão permanecem como fontes de destaque.

Sob a ótica do consumo, os dados dispostos pela BP (2011) incluem as fontes renováveis de energia. Essas são apresentadas em dois grupos: hidroelétrica (a principal delas) e renováveis (onde constam as demais fontes renováveis consumidas). O petróleo, o carvão e o gás natural apresentam-se como as fontes de maior relevância. O Gráfico 5 apresenta o consumo das principais fontes energéticas do mundo.

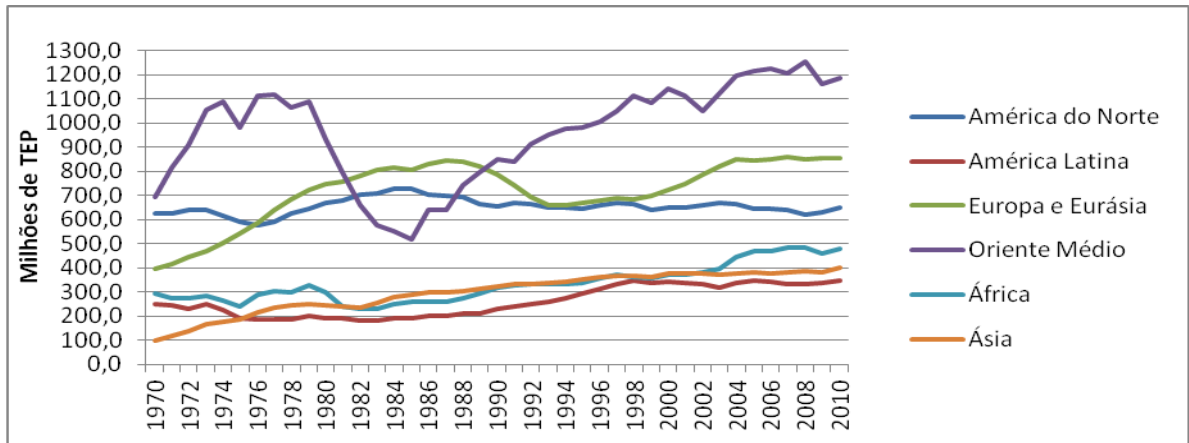
Gráfico 5: Consumo mundial de energia



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados da BP, 2011

O petróleo, diante das reservas comprovadas ainda existentes, deve permanecer como a fonte de energia mais consumida no mundo, no mínimo, durante mais algumas décadas. No entanto, espera-se que com o desenvolvimento de outras fontes de energia (renováveis e menos poluentes), o uso do petróleo passe a ser cada vez menor como fonte de energia, visto que, atualmente, utilizamos petróleo para diversos fins, como por exemplo, fabricação de borracha, asfalto e até alimentos.

Gráfico 6: Produção de petróleo no mundo por região

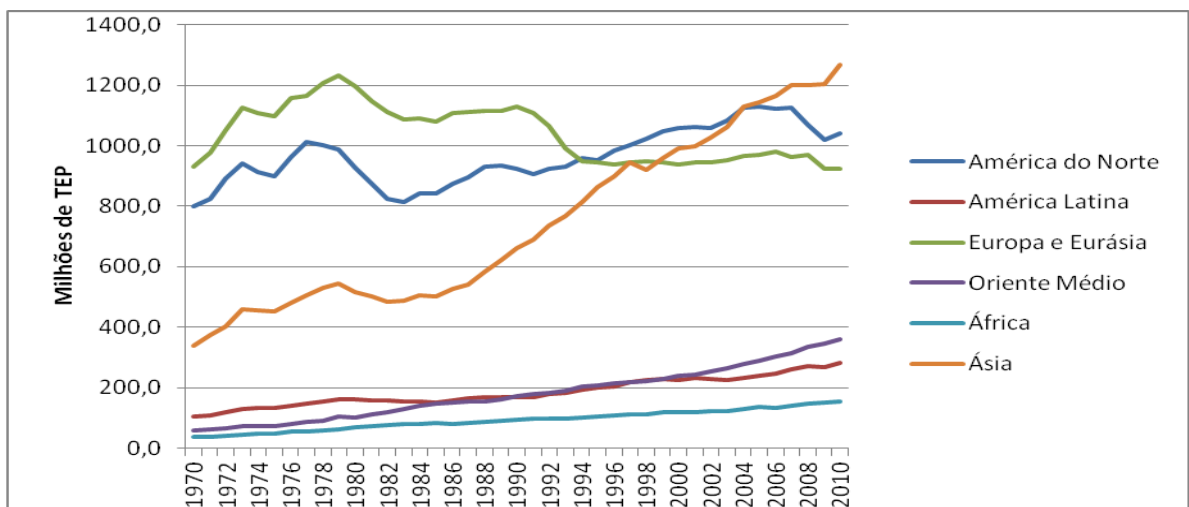


Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados da BP, 2011

Como pode ser constatado a partir do Gráfico 6, a produção de petróleo não é estável. Ela pode ser influenciada tanto por fatores da conjuntura político-econômica mundial, como pelas reservas encontradas e a viabilidade de exploração das mesmas. Em todas as regiões do mundo, é possível observar oscilações na produção ao longo do tempo. Excetuando-se os momentos do choque do petróleo (final da década de 70 e década de 80), o Oriente Médio mantém-se como a região com maior produção.

O Gráfico 7 apresenta o consumo energético proveniente do petróleo nos últimos quarenta anos.

Gráfico 7: Consumo de energia proveniente do petróleo no mundo por região



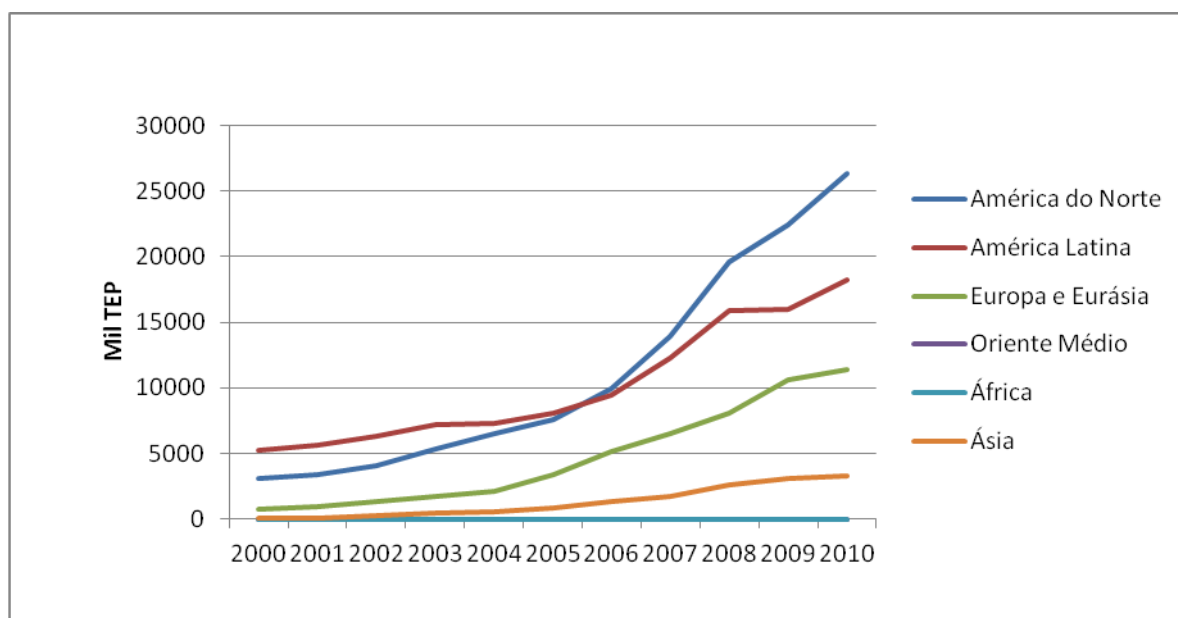
Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados da BP, 2011

Um dos aspectos que explica o consumo de petróleo de cada região do mundo é a pujança de suas economias. Assim, tem-se que o Oriente Médio, a América Latina e a África são as regiões do mundo que consomem, de forma absoluta, uma menor quantidade de energia proveniente do petróleo.

De forma análoga, a América do Norte e, mais recentemente, a Ásia, são as regiões com alto padrão de consumo de petróleo. No primeiro caso destacam-se os Estados Unidos, maior economia mundial, e no segundo, o boom da economia chinesa, que foi, na média, a economia que mais cresceu no mundo nos últimos 25 anos (média de crescimento do PIB em torno de 10% ao ano).

De forma minoritária na matriz energética mundial, mas em crescimento, existe a geração de energia por meio dos biocombustíveis, ou seja, combustíveis de origem biológica não fóssil. Como mostra o Gráfico 8, é nítida a crescente produção de biocombustíveis, sendo a África o único continente que não segue essa tendência.

Gráfico 8: Produção de biocombustíveis no mundo por região



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados da BP, 2011

Os biocombustíveis, além de serem uma fonte renovável de energia, podem contribuir, a depender de sua forma de produção e de sua matéria-prima, para conter o nível de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

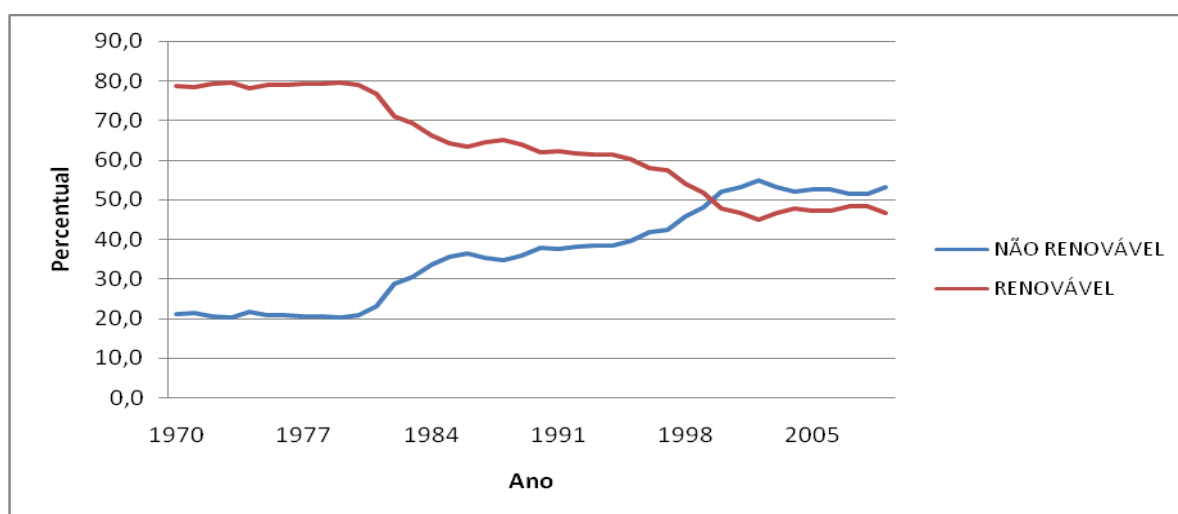
Apesar de nem sempre serem a opção mais barata, as vantagens desse tipo de combustível têm sido valorizadas por países do mundo todo. Por exemplo, em 2011, no comparativo com o ano anterior, cinco países da União Europeia ampliaram a obrigatoriedade do uso de biocombustíveis. São eles: Finlândia, Polônia, Itália, Espanha e Bulgária. Além deles, a Dinamarca tornou o uso obrigatório pela primeira vez.

## 2.4 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Nos últimos quarenta anos, a matriz energética brasileira passou por diversas transformações, tendo sua estrutura produtiva de energia modificada, e conseqüentemente, sua oferta e sua demanda. Essas modificações são motivadas segundo a conjuntura econômica nacional e internacional, mas dependem sempre do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias na área energética. O Brasil é um país que tem o privilégio de compor aproximadamente 45% da sua matriz energética com fontes renováveis, apesar de o petróleo ainda ser a maior fonte de energia brasileira.

Energia primária é definida no Balanço Energético Nacional (BEN) como “produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica etc.”. O Gráfico 9 mostra a participação da energia renovável e não-renovável na produção de energia primária.

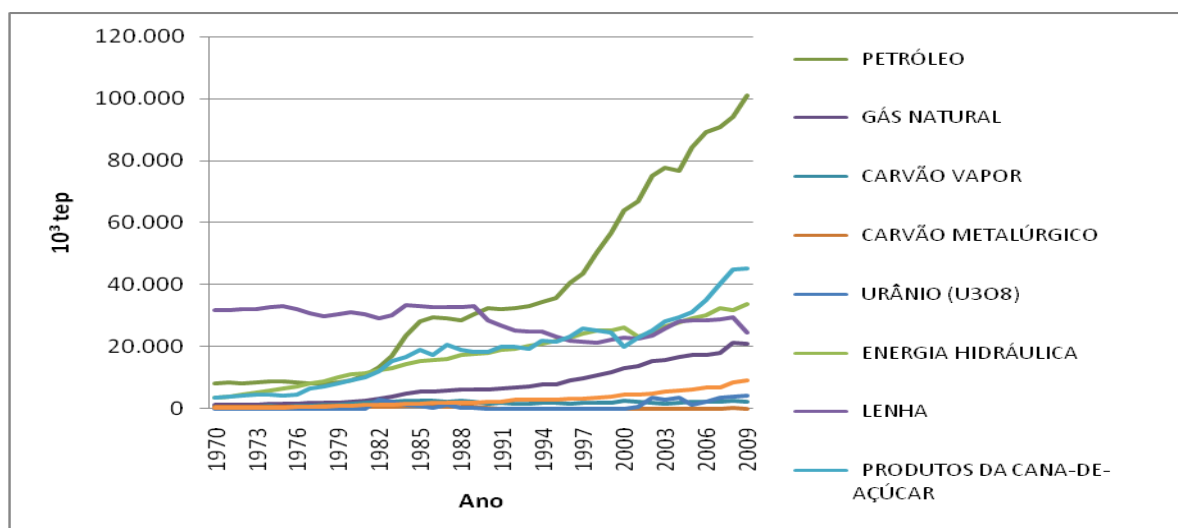
Gráfico 9: Produção de energia primária no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir dos dados do BRASIL, 2013

Apesar da perda de participação relativa das fontes renováveis, ocorrida da década de 70 para o ano de 2009, isso não significa que a produção de energia proveniente dessas fontes tenha diminuído. Pelo contrário. Com raríssimas exceções, como, por exemplo, a lenha (o que é um fato positivo), ela manteve-se sempre crescente. A produção de energia primária a partir de fontes renováveis cresceu, entre 1970 e 2009, 188%. A perda de participação ocorreu devido ao grande crescimento da utilização do petróleo como fonte de energia, e em segundo plano, do gás natural, como pode ser visto no Gráfico 10, a seguir. Com a descoberta das reservas do pré-sal, o Brasil constatou um potencial para produzir de 70 a 100 bilhões de barris de óleo equivalente – boe (somatório de petróleo e gás natural). A Petrobras tem realizado investimentos constantes em tecnologia, com o objetivo de viabilizar a exploração dessa reserva, que já foi iniciada, com fins comerciais, em 2010.

Gráfico 10: Produção de energia primária no Brasil, por fonte (1970-2009)



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir dos dados do BRASIL, 2013

O petróleo, principal fonte de energia utilizada no Brasil atualmente, é uma mistura na qual predominam hidrocarbonetos, tanto simples – como, por exemplo, alcanos - como complexos – como, por exemplo, os aromáticos. Sua energia provém da combustão do carbono e do hidrogênio. Apesar de seu elevado grau de poluição, apresenta alto poder energético e ainda possui como vantagem a facilidade de transporte e distribuição, como também a possibilidade de ser estocado (ROVERE *et al.*, 1985).

Com o transcorrer da década de setenta, e com os impactos do choque do petróleo, o panorama da produção de energia primária no Brasil passou por transformações. O II Plano

Nacional de Desenvolvimento (PND) (1975-1979) - foi lançado pelo governo como uma reação ao primeiro choque do petróleo. Além de melhorar o sistema energético, visava estimular a produção de bens de capital, insumos básicos e alimentos. No tocante à energia, o plano buscava a ampliação das pesquisas na área do petróleo e diversificação da matriz energética brasileira a partir de investimentos em fontes alternativas, como por exemplo, o álcool e a energia nuclear.

A partir da década de 80 (após o segundo choque do petróleo), a produção de energia proveniente do mesmo entrou em fase de grande crescimento, visto que naquela época o Brasil ainda importava petróleo, e os choques do mesmo tornou o produto muito caro, trazendo elevada despesa para o país. No início da década de 90 já era a fonte de maior produção de energia no país. O setor continua em franca expansão e tem como pivô de desenvolvimento a Petrobras. As pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor permitiram a descoberta de novas reservas, em locais de mais difícil acesso (cada vez mais longe da costa e em águas mais profundas), e a tecnologia necessária para explorá-las. Como grande exemplo podem ser citadas as reservas do pré-sal.

Os choques do petróleo, apesar de terem provocado instabilidade e grande oscilação nos preços, também tiveram seu lado positivo. Como dito anteriormente, o cenário de incerteza levou o Brasil a investir na diversificação da matriz energética. E mais, essa diversificação veio, em boa parte, através de fontes renováveis. Cabe aqui destacar o crescimento da importância de mais duas fontes de energia primária, “produtos da cana-de-açúcar” e “energia hidráulica”, ambas as fontes renováveis.

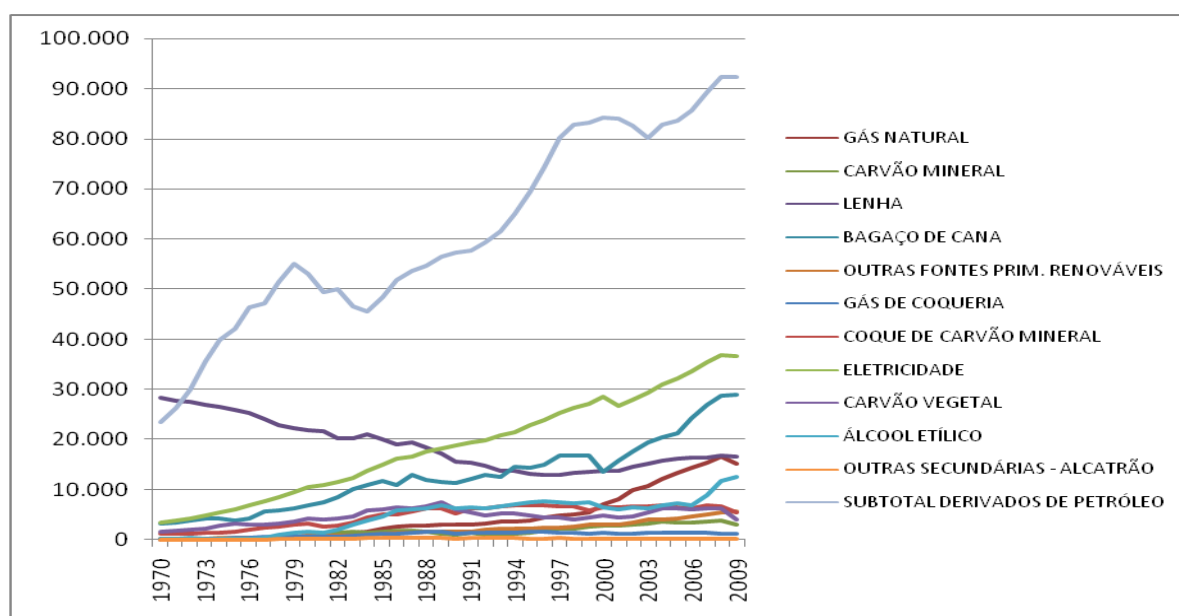
A primeira teve o seu grande impulso para o crescimento no início da década de 70, com a crise do petróleo. Em 1975, o governo lançou o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) com o objetivo de substituir os combustíveis derivados do petróleo, utilizados em veículos, por álcool, proveniente da cana-de-açúcar. Com o novo choque do petróleo, no final da década, 1978/1979, o programa foi fortalecido.

Uma observação interessante a se fazer no que diz respeito à cana é sobre o etanol, combustível produzido a partir da mesma. Além de ser uma fonte renovável pode ser produzido em larga escala. Esse é um empecilho comum, encontrado por diversos países do

mundo quando se trata de fontes renováveis. A grande extensão territorial com plantação de cana existente no Brasil viabiliza, sem dificuldade, a produção do etanol em grande escala.

A estrutura de consumo de energia encontrada no Brasil pouco se difere daquela constatada para a produção de energia. Isso ocorre porque o Brasil importa pouca quantidade de energia, quando comparada à quantidade produzida. Novamente, como mostra o Gráfico 11, a energia proveniente do petróleo se destaca, não só pela quantidade consumida atualmente, mas também pelo vertiginoso crescimento ocorrido ao longo dos anos.

Gráfico 11: Consumo final de energia no Brasil por fonte



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir dos dados do BRASIL, 2013

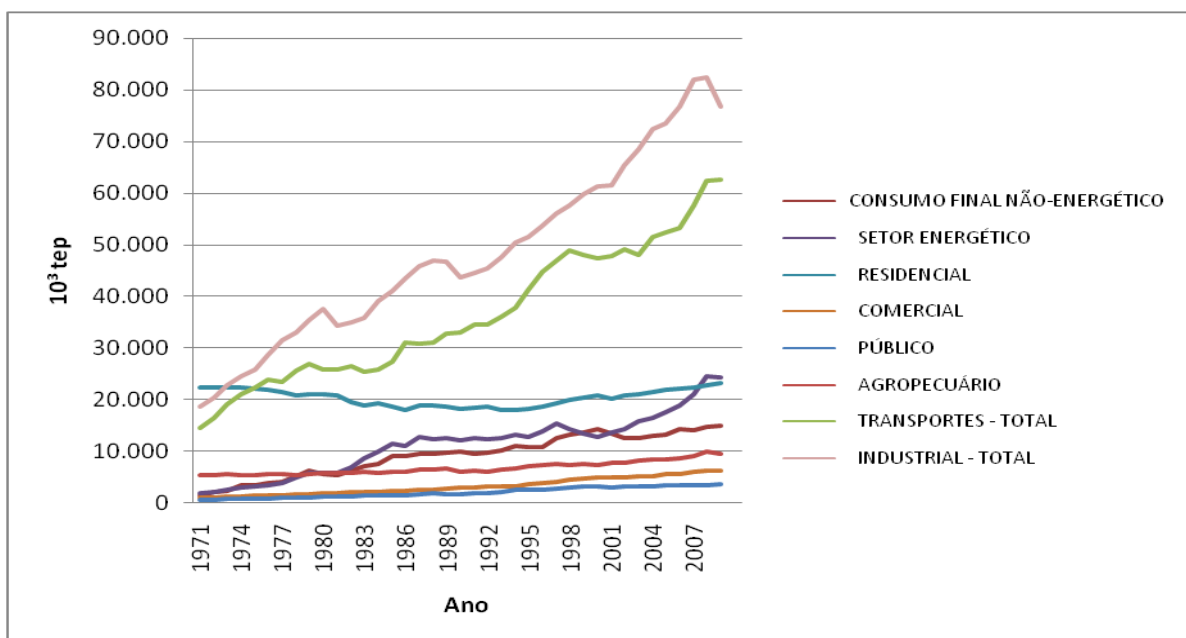
A eletricidade é a segunda forma de energia mais consumida no Brasil. Assim como a energia proveniente do petróleo, mas em menor proporção, o consumo passou por grande crescimento nos últimos quarenta anos. Um dos motivos para tal crescimento é o choque do petróleo, ou melhor, os choques. Devido a isso, parte da indústria converteu sua fonte de energia para energia elétrica. Mais recentemente, principalmente a partir de 2007, esse crescimento foi estancado pelo crescimento do uso de gás natural, fonte que vem sendo mais barata que a elétrica. A energia elétrica é consumida pelas indústrias, residências, setor agropecuário, público, energético e de serviços. Entre esses, os de maiores demanda são as indústrias e as residências.

A terceira fonte de energia mais consumida no Brasil é o bagaço da cana. Também apresentou significativo crescimento de consumo ao longo dos últimos quarenta anos. Com a valorização do uso de bioenergia e o aumento das pesquisas nesta área, o crescimento do consumo de energia proveniente do bagaço de cana foi mais vertiginoso nos últimos dez a quinze anos. Um dos usos do bagaço da cana é a geração de energia elétrica.

O gás natural, a quarta fonte de energia mais consumida no país, também apresenta crescimento significativo do consumo, principalmente com a chegada do século 21. O gás natural é consumido nas residências (recentemente, muitos empreendimentos imobiliários já são entregues com sistema de aquecimento a gás instalado, em substituição a energia elétrica), no comércio, nos transportes e, principalmente, nas indústrias. É uma fonte de energia econômica e pouco poluente.

Outra forma de analisar o consumo de energia é a observação do consumo por setor, como pode ser visto no Gráfico 12, a seguir.

Gráfico 12: Consumo energético e não-energético no Brasil, principais setores



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir dos dados do BRASIL, 2013

A partir do Gráfico 12 é possível notar que o setor que mais consome energia é o da indústria, seguido pelo de transporte. Apesar de essa tendência estar estabelecida há mais de trinta anos, não foi sempre assim. No início da década de 70 o consumo residencial era o setor que mais



consumia energia no Brasil. Com o desenvolvimento do país, fortemente impulsionado pelo Milagre Econômico, e, portanto, pela política de crescimento que foi implantada pelos militares naquela época, essa situação logo se alterou e a indústria e o setor de transportes passaram a ser os maiores responsáveis pelo consumo de energia no país.

A partir de 2008, o consumo de energia residencial é ultrapassado ainda pelo consumo de energia do setor energético. Os demais setores apresentam um crescimento absoluto contínuo, mas pequeno. O consumo não-energético foi impulsionado, ao menos em parte, pela diversificação dos usos do petróleo.

Fazendo comparações com o panorama internacional, o Brasil possui um avançado sistema energético nacional. Com sua grande extensão territorial e tantas riquezas naturais, associadas aos investimentos realizados no setor, o país alcançou umas das maiores fronteiras energéticas do mundo. Foi viabilizada não só ampliação e modernização do sistema energético, como também uma grande variedade de fontes e um equilíbrio entre fontes renováveis e não-renováveis. Esse cenário, somado ao grande mercado consumidor que possui, proporciona ao Brasil papel relevante na geopolítica energética internacional.

Tendo como referência o consumo de energia em 2009, que foi de 220,9 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), o Ministério de Minas e Energia (MME) estima que nos próximos trinta anos esse consumo aumente em mais de 100%. E mais, espera-se que a diversificação da matriz se amplie, deixando de ter três fontes (petróleo, lenha e energia hidráulica) atendendo a 74% do consumo e passando a ter quatro fontes (petróleo, energia hidráulica, cana de açúcar e gás natural) responsáveis por 77% do consumo.

Além disso, cabe notar que muitos países em desenvolvimento estão ampliando rapidamente o consumo de energia. Não se sabe ao certo se eles poderão ampliar sua capacidade energética na velocidade necessária para não frear o seu desenvolvimento. Somado a isso, aumento de consumo pode levar a aumento de preços e necessidade de diversificação. Apesar de estar também em desenvolvimento e ampliando o seu consumo de energia, o Brasil possui capacidade para ampliar sua energia ofertada. Pode-se citar como exemplo o petróleo, que é a principal fonte de energia do mundo e que o Brasil tem vastas reservas.

Assim, diante dessas questões, conclui-se que o Brasil possui vantagens estratégicas e fundamentais em relação a muitos países. Sua matriz energética, dentro de um comparativo internacional, é limpa, renovável, diversificada e com ampla capacidade de aumento de exploração do petróleo, que é atualmente a base energética do mundo. Essas características somadas a um sistema energético integrado proporcionam ao país importantes instrumentos para garantir a segurança energética.

#### **2.4.1 Biodiesel**

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2012), biocombustíveis podem ser definidos como combustíveis que “são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outro tipo de geração de energia.” No Brasil, o etanol e o biodiesel (este último em escala crescente desde 2005) são os biocombustíveis mais importantes.

Pensando tecnicamente em sua produção, pode-se definir biodiesel como um éster alquílico de ácidos graxos, resultado de uma reação de transesterificação de um triglicerídeo (óleos ou gorduras que podem ser de origem animal ou vegetal) com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol). A reação de transesterificação ocorre na presença de um catalisador (substância utilizada para acelerar reações) que pode ser ácido ou básico. Além do biodiesel a reação tem como produto a glicerina (MEIRELLES, 2003).

O biodiesel também pode ser entendido como “... um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir de forma parcial ou total combustíveis de origem fóssil” (LEIRAS, 2006).

Assim como os demais biocombustíveis, o biodiesel possui a vantagem de proporcionar uma crescente substituição de fontes energéticas de origem fóssil por fontes de energia de origem renovável. Muitos países já produzem biodiesel comercialmente. Podem-se citar como exemplo alguns países integrantes da União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil. Outros

países como Austrália, Filipinas, Japão, ainda estão em processo de desenvolvimento de suas indústrias e incentivo a produção e ao uso do biodiesel (FURIGO, 2009).

Para incentivar o uso desse combustível, países da Europa tributam especificamente o diesel de petróleo incentivando a cadeia produtiva de biodiesel. Além disso, promoveram alterações na legislação do meio ambiente (MEIRELLES, 2003).

A Alemanha, maior produtor mundial que adotou isenção total de impostos para o biodiesel, possui um sistema de produção de biodiesel a partir da canola (colza), sendo o maior produtor e consumidor europeu (MEIRELLES, 2003). O sistema produtivo da França se assemelha ao da Alemanha, porém com isenção parcial de impostos e o biodiesel é distribuído para o setor de transporte misturado com óleo diesel de petróleo na proporção de 5% e 25% (FURIGO, 2009; BIODIESELBR, 2012).

Nos Estados Unidos, são concedidos subsídios aos produtores desse combustível (MEIRELLES, 2003). A motivação é feita pelo Estado, visando uma redução dos impactos ao meio ambiente causados pelos combustíveis fósseis. A capacidade de produção de biodiesel nesse país é de 210 a 280 milhões de litros por ano (FURIGO, 2009).

Na Malásia, foi criada a Política Nacional de Biodiesel, em Março de 2006, com o objetivo de diminuir a dependência de combustíveis fósseis promovendo o uso de combustíveis de fontes renováveis. Os planos desse projeto são: misturar 5% de biodiesel produzido com óleo de palma no setor de transporte e no setor industrial; encorajar a produção de usinas de biodiesel para a exportação, e aumentar o uso de biodiesel para diminuir a emissão de gases poluentes na atmosfera (GARTEN ROTHKOPF, 2007).

No Brasil, na década de 20, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) já desenvolvia estudos sobre combustíveis renováveis. Na década de 70, juntamente com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e com a Comissão Executiva da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) foram desenvolvidas pesquisas sobre a utilização de óleos vegetais para a produção de biodiesel, com destaque para o DENDIESEL, que tem como matéria-prima o dendê (MEIRELLES, 2003). Em 2010, o país tornou-se o segundo maior produtor mundial de biodiesel (BIODIESELBR, 2012).

Aqui, o uso do biodiesel acontece por meio da adição do mesmo ao diesel de petróleo. Essa mistura obrigatória foi instituída pela Lei do Biodiesel nº 11.097/05, que entrou em vigor em janeiro de 2005. Nela, ficou determinado que o biodiesel deve ser adicionado ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em qualquer parte do território nacional.

A lei estabelecia que, em 2008, a mistura do biodiesel ao diesel tornar-se-ia obrigatória, na proporção de 2% em volume. Até essa data seria um período autorizativo. Em 2013, o percentual adicionado aumentaria para 5%. No entanto, estava claro que os prazos poderiam ser alterados por meio de resoluções do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (DORNELLES, 2006). Assim, a partir de janeiro de 2009, o percentual obrigatório foi aumentado para 3%, em julho de 2009, passou para 4%, e, em janeiro de 2010, aumentou novamente para 5%.

A única forma de comercialização de biodiesel permitida no Brasil é através dos leilões, que são promovidos, regulados e fiscalizados pela ANP, desde a contratação até a comercialização. Os leilões, que já passaram por diversos formatos, ocorrem trimestralmente. A partir da portaria nº 276, de 5 de maio de 2012, feita pelo Ministério de Minas e Energia, o biodiesel comprado pelos adquirentes passou a ser na quantidade que cada um estabelecer, de acordo com sua demanda.

Ainda de acordo com a portaria, os Leilões Públicos ocorrem em quatro etapas: apresentação das ofertas; seleção das ofertas pelos adquirentes com origem em fornecedores provenientes do “Selo Social”, e em seguida, seleção de propostas independente do “Selo Social”. Por fim, consolidação e divulgação do resultado. O art. 7 inciso IV determina que:

O preço unitário ofertado para cada oferta individual, em Reais por metro cúbico, para entrega na unidade produtora do fornecedor, incluindo os Tributos Federais incidentes sobre o biodiesel, não poderá ser superior ao preço máximo de referência definido pela ANP para a Região onde está localizada a unidade produtora do fornecedor. (BRASIL, 2004).

Algumas medidas fiscais foram tomadas na tentativa de incentivar o biodiesel. De acordo com o artigo 3º do decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004 (alterado pelo decreto nº 6.606, de 21 de outubro de 2008), o coeficiente de redução da Contribuição para o PIS/PASEP e da

Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) previsto no caput do art. 5º da Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005, fica fixado em 0,7357 (BRASIL, 2004).

O decreto nº 5.297 determina, ainda, que recebe selo de “Combustível Social” o produtor que promova inclusão social, tendo como fornecedores de matéria-prima, na proporção estabelecida pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, agricultores que são cadastrados no Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), e ainda, comprovam regularidade perante o Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores - (SICAF).

O coeficiente de redução é alterado para 0,775 quando o biodiesel é fabricado a partir de mamona ou palma produzida na região norte ou nordeste e no semiárido. Passa para 0,896 quando o biodiesel é fabricado a partir de matéria-prima produzida por agricultor familiar cadastrado no PRONAF, e chega a 1,0 quando o biodiesel é produzido a partir de matéria-prima proveniente de agricultor familiar do PRONAF e foi produzida na região norte, nordeste e semiárido.

Constata-se que a isenção total desses impostos praticamente não ocorre, visto que a maior parte do biodiesel produzido no Brasil utiliza como matéria-prima a soja. De acordo com os dados fornecidos pelo Boletim Mensal do Biodiesel da ANP (2011), em dezembro de 2010, 75,22% do biodiesel produzido no Brasil usa como fonte de óleo vegetal da soja. Ainda de acordo com os Boletins da ANP, em fevereiro de 2012, o percentual registrado foi de 74,54%, o que comprova que a cadeia produtiva do biodiesel pouco se modificou. Nesta mesma data, o biodiesel produzido a partir do óleo de dendê representa apenas 0,25% da produção nacional. Além disso, cada vez mais estudos comprovam que a viabilidade do biodiesel depende de uma produção em larga escala de sua matéria-prima.

“Os leilões contribuíram para o desenvolvimento da capacidade produtiva, mas ressaltou a necessidade da estruturação dos segmentos de comercialização para operar com o novo combustível” (DORNELLES, 2006).

Apesar da ainda carente cadeia produtiva brasileira de biodiesel, esse biocombustível vem cumprindo um papel importante na matriz energética brasileira. No início da seção, foram

citadas funções de um biocombustível, como, redução de fontes de energia fósseis e substituição por fontes renováveis, característica que sem dúvida é atribuída ao biodiesel. Além disso, o biodiesel exerce seu papel ambiental. Seu uso em substituição ao diesel de petróleo, ainda que parcial, reduz a emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

Mesmo tendo a emissão de CO<sub>2</sub> como foco deste trabalho, cabe destacar que a emissão de outros gases do efeito estufa e de óxido de enxofre também é reduzida (MITTELBAACH *et al.*, 1985 *apud* RAMOS *et al.*, 2003). Desta forma, o aumento do seu uso provocará benefícios à saúde da população, como também uma redução nos gastos com saúde pública, permitindo que as verbas possam ser direcionadas para outras áreas, como por exemplo, educação e previdência (GALLO, 2003 *apud* RAMOS *et al.*, 2003).

Diante do exposto, é possível compreender que apesar de alguns cientistas divergirem em parte das questões ligadas à emissão de CO<sub>2</sub>, existem consequências das emissões de CO<sub>2</sub> que são claras e justificam a necessidade da questão ser relevante para o Estado. A observação da matriz energética é fundamental para identificar quais as principais fontes de energia consumida e fazer a reflexão a respeito de quais dessas fontes são emissoras importantes desse gás. Desta forma, obtêm-se subsídios, necessários, mas não suficientes, para definir a melhor forma de intervir na questão. Outros pontos fundamentais para essa intervenção são apresentados no capítulo seguinte.

### 3 EXTERNALIDADES E RECURSOS DE USO COMUM

Este segundo capítulo tem como escopo analisar o referencial teórico relacionado à externalidades, que são tratadas em economia como um tipo de falha de mercado. Ainda neste contexto, o capítulo discute questões relacionadas ao uso de recursos comuns, onde se enquadra o ar limpo, um dos focos desse trabalho.

Na primeira seção, é apresentada a definição de externalidade e sua relação com a eficiência de mercado. Na segunda, discorre-se sobre os recursos de uso comum, apresentando sua definição e os problemas associados ao seu uso em excesso ao que seria ótimo do ponto de vista social. Na terceira e última seção são apresentadas algumas formas de o Estado utilizar a regulação e conseguir internalizar, mesmo que parcialmente, as externalidades associadas à utilização de recursos comuns.

#### 3.1 EXTERNALIDADES E EFICIÊNCIA DE MERCADO

A interação dos agentes frequentemente resulta em uma alteração de bem estar das partes. De acordo com Varian (1992), existe uma externalidade quando a ação de um agente afeta diretamente o ambiente de outro agente. De forma similar, Pindycke e Rubinfeld (2009) define externalidade como a ação de um produtor ou consumidor que afeta positivamente ou negativamente os outros produtores ou consumidores, sendo estes participantes ou não do mercado em questão. Por exemplo: as queimadas, que ainda são utilizadas como técnica para colheita da cana-de-açúcar, emitem GEE na atmosfera, e isso provoca um custo para pessoas que não consomem a cana ou nenhum de seus subprodutos. No entanto, essa ação não é levada em conta na determinação do preço de mercado.

Assim, percebe-se que o conceito de externalidade é relevante para compreender o processo de formação de preços na economia. Comumente, esse processo não inclui na ‘conta’ os impactos sociais, ambientais e sanitários, causados pela produção e/ou consumo de bens e serviços (SOARES; PORTO, 2007). Uma externalidade acontece sempre que o valor social de um bem ou serviço não coincide com o valor privado ou quando o custo social de se ofertar um bem ou serviço não coincide com o custo privado. No primeiro caso, temos externalidades de consumo; no segundo, externalidades de produção.

As externalidades podem surgir de diferentes formas e provocar diferentes efeitos, o que levou os estudiosos do assunto a criarem uma classificação para as mesmas, que variam de acordo com a perspectiva de observação. Elas podem ser analisadas tanto pela ótica de qual o seu efeito, como pela ótica de por quem são provocadas. Logo, as externalidades podem ser classificadas como positivas ou negativas, e de produção ou consumo (VARIAN, 1992).

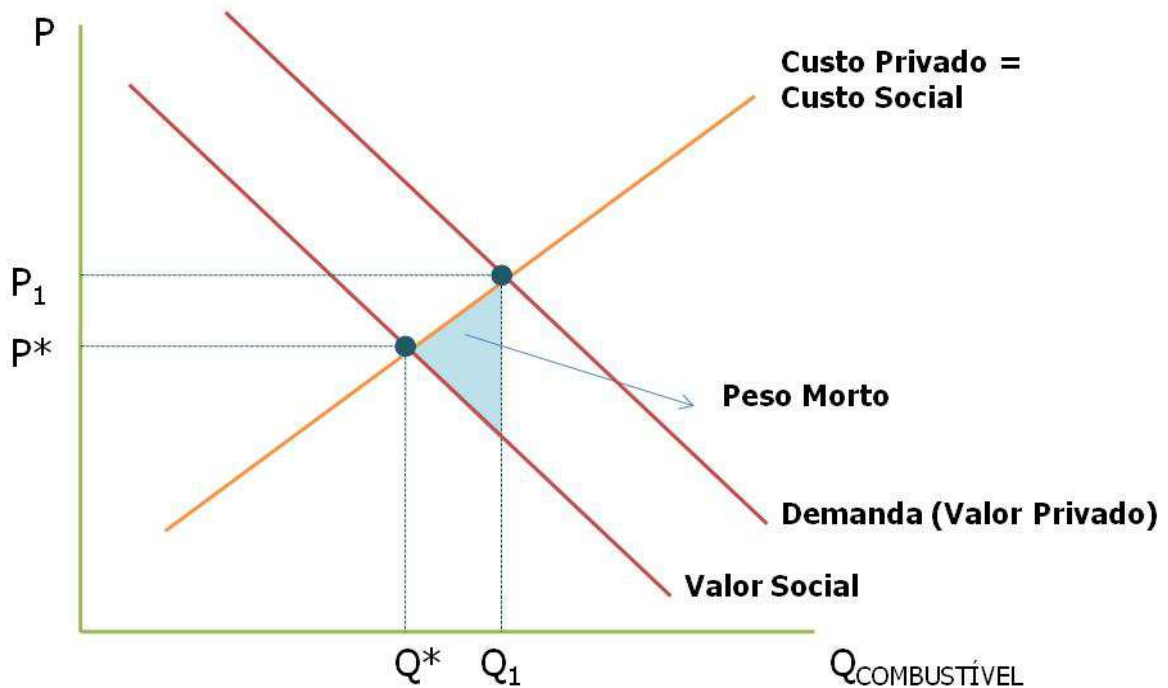
Sob a perspectiva de suas consequências, as externalidades podem ser enquadradas como positivas, quando proporcionam um benefício. De forma análoga, aquelas que gerem um custo, são entendidas como externalidades negativas. Ressalta-se que, tanto o benefício, como o custo gerado, levam a ineficiência de mercado, e podem afetar consumidores, firmas ou ambos (VARIAN, 1992).

Já sob o ponto de vista da forma como é provocada a externalidade, ela pode ser identificada como externalidade de consumo ou externalidade de produção. Ou seja, quando a externalidade surge a partir da ação de consumir um bem ou serviço, diz-se que existe então uma externalidade de consumo, que afeta a utilidade de outro agente, que pode ser outro consumidor ou, até mesmo, uma firma (VARIAN, 1992).

Um exemplo clássico é um agente que consome tabaco e impõe a fumaça emitida a outros consumidores, ele está provocando uma externalidade de consumo, e neste caso, negativa. (VARIAN, 1992). Assim, quando um agente consome um combustível que eleva o nível de poluição do ar, como, por exemplo, os combustíveis fósseis, ele está afetando diretamente o ambiente de outros agentes, e nesta situação, também se configura uma externalidade de consumo negativa. Neste caso, o indivíduo que consome o combustível atribui um valor maior ao combustível do que a sociedade, já que esta internaliza as perdas associadas à poluição do ar (e.g. doenças respiratórias). Na Figura 4, observa-se que o nível ótimo de consumo para a sociedade é  $Q^*$ , mas que o equilíbrio de mercado ocorre em  $Q_1$ , gerando uma perda social, representada na Figura 4 pelo Peso Morto.



Figura 4: Externalidade negativa de consumo

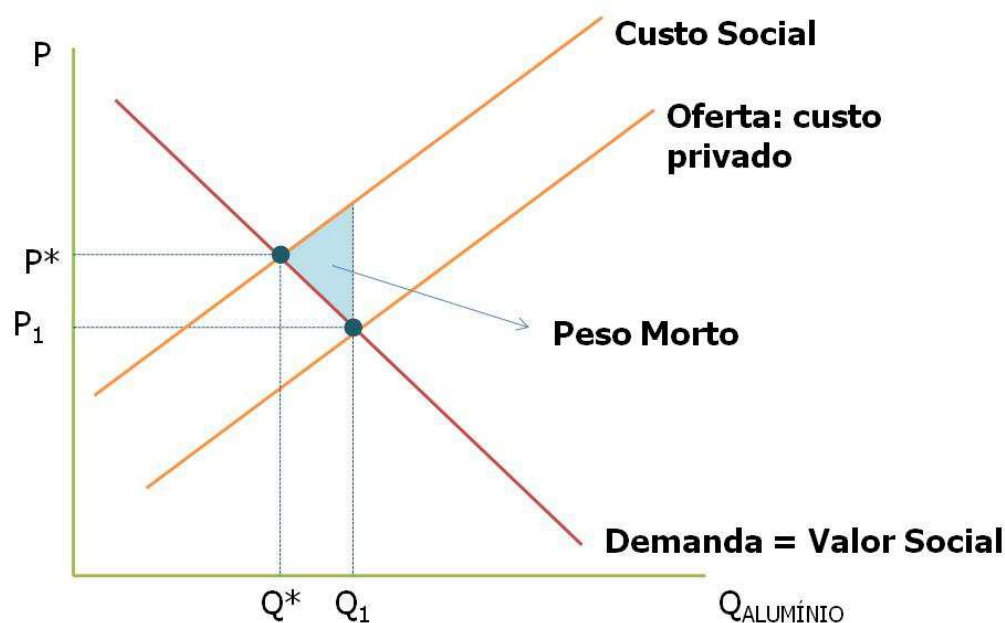


Fonte: Elaboração própria, 2013

Por outro lado, quando um morador faz melhorias em sua calçada, ele gera uma externalidade positiva para todos que passam por ela, ainda que isso não seja levado em consideração na hora de decidir pelas melhorias na rua.

Ademais, existem também as situações que a produção de uma firma afeta outros agentes, que podem ser firmas ou consumidores. Configura-se então a externalidade de produção. Por exemplo, a produção de uma indústria que polui o ar pode provocar um custo maior a uma empresa que trabalhe com lavagem de roupas, ou ainda, uma empresa deposita seus efluentes em rios, poluindo a água e prejudicando a saúde de moradores da região, isso afeta diretamente o bem estar de diversos consumidores (VARIAN, 1992). Neste último caso, pode ainda afetar outras firmas que posteriormente utilizam aquela água em sua produção. A Figura 5, a seguir, ilustra a perda associada a uma externalidade negativa de produção.

Figura 5: Externalidade negativa de produção



Fonte: Elaboração própria, 2013

Quando um indivíduo utiliza um combustível fóssil, como, por exemplo, gasolina ou diesel, emite-se  $\text{CO}_2$  e outros gases poluentes: isto é uma externalidade negativa de consumo, e não há nada que motive aos agentes que consomem estes bens a responsabilizar-se pelos custos externos que estão impondo à sociedade. Isso significa que o Estado deve intervir e ‘criar’ este incentivo para inibir tal externalidade (os mecanismos de controle serão tratados na terceira seção deste capítulo).

Uma dificuldade para incluir nos preços os custos provocados pelas externalidades é a inexistência de um mercado no qual esses custos externos possam ser estimados e incorporados no preço do combustível. Como um avanço nesse sentido, existe o mercado de crédito de carbono.

Pindyck e Rubinfeld (2009) apresenta ainda o conceito de Externalidades de Estoque, muito relacionado com a externalidade negativa provocada pelo consumo do diesel. Significa que, a externalidade ocorrendo apenas uma vez não se constitui, necessariamente, em uma interferência. O impacto dela está mais ligado à ocorrência sucessiva, ao acúmulo.

No caso da externalidade de consumo causada pelo diesel, entende-se que se apenas uma vez, ou um dia, o diesel fosse consumido e emitisse CO<sub>2</sub>, nenhum dano seria causado. É o estoque de GEE acumulado na atmosfera que faz mal ao ser humano, e não cada unidade emitida individualmente.

As externalidades são caracterizadas pelo seu caráter involuntário, faz parte do processo de determinado consumidor ou firma, em sua atividade de consumir ou produzir. No entanto, as externalidades provocam um custo social, independente de ser positiva ou negativa, o que significa que a externalidade não pode ser eliminada sem que se gere um custo adicional (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2008).

Por exemplo, se uma empresa provoca poluição ao longo de seu processo produtivo, ela está gerando um custo social. Isso significa que existe um custo provocado pela produção de seu bem, mas que não aparece na função de produção da firma. Assim, para que a externalidade seja eliminada, esse custo social precisa ser integrado na função de produção da empresa.

De acordo com a Teoria Econômica do Bem-Estar, as externalidades provocam ineficiência de mercado, e acontecem quando as relações de produção provocam consequências negativas ou positivas ao bem estar de terceiros. Ademais, aqueles que provocam tal efeito não pagam ou recebem nada pelo resultado de suas ações (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2008). Isso significa que os agentes não respondem pelo custo social gerado.

As externalidades ocorrem em consequência de uma divergência de interesses, onde se opõem os interesses sociais e privados. Os livres mercados são pautados na estrita observação de interesse pessoal. Desta forma, o agente que provoca a externalidade não tem incentivo para contabilizar os custos que impõe a terceiros. Quando a externalidade gerada é negativa, em equilíbrio competitivo, configura-se uma produção maior do bem ou serviço oferecido pelo agente gerador do que a quantidade socialmente desejável, conforme ilustrado anteriormente (PEARCE, 1996 *apud* SOARES; PORTO, 2007).

Sob a ótica da alocação dos recursos, atinge-se a situação ideal quando é possível internalizar todas as externalidades geradas. Ou seja, quando é possível precificar um subproduto que é

gerado de forma involuntária. Mas, de fato, são poucos os casos em que se consegue fazer isso (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2008).

Deste modo, como o custo social da externalidade não é considerado quando o agente responsável pela produção toma suas decisões, não é possível atingir um equilíbrio eficiente de Pareto, configurando-se um mercado ineficiente (WEYDMANN, 2005). No caso do consumo do diesel, a ineficiência econômica leva ao excesso de consumo, que faz com que uma quantidade demasiadamente grande de CO<sub>2</sub> seja emitida para o meio ambiente.

Neste caso, a origem da ineficiência é um preço baixo. O preço é baixo porque reflete apenas o custo marginal, sem o custo marginal social. Assim, pode-se afirmar que o uso do biodiesel, adicionado ao diesel, reduz, mesmo que marginalmente, a ineficiência do mercado, porque aumenta o preço do diesel, de forma a 'cobrar' pelas emissões provocadas, ou seja, a externalidade provocada. Ao mesmo tempo, reduz as emissões geradas.

Configura-se então a seguinte situação: a disputa entre os agentes econômicos para ofertar ao mercado preços mais baixos, ou seja, mais atrativos e, portanto, mais competitivos, não otimizam o funcionamento da economia. Essa disputa pode ser entendida também, sob uma ótica mais global, como uma concorrência entre países e regiões (SOARES; PORTO, 2007).

Uma economia não otimizada constitui-se em um entrave para alcançar a sustentabilidade do meio ambiente, visto que o preço oferecido não inclui, como dito anteriormente, diversos custos sociais, ambientais e sanitários. Desta forma, esses custos, por não serem incluídos no preço, acabam sendo socializados, atingindo assim toda a população (SOARES; PORTO, 2007).

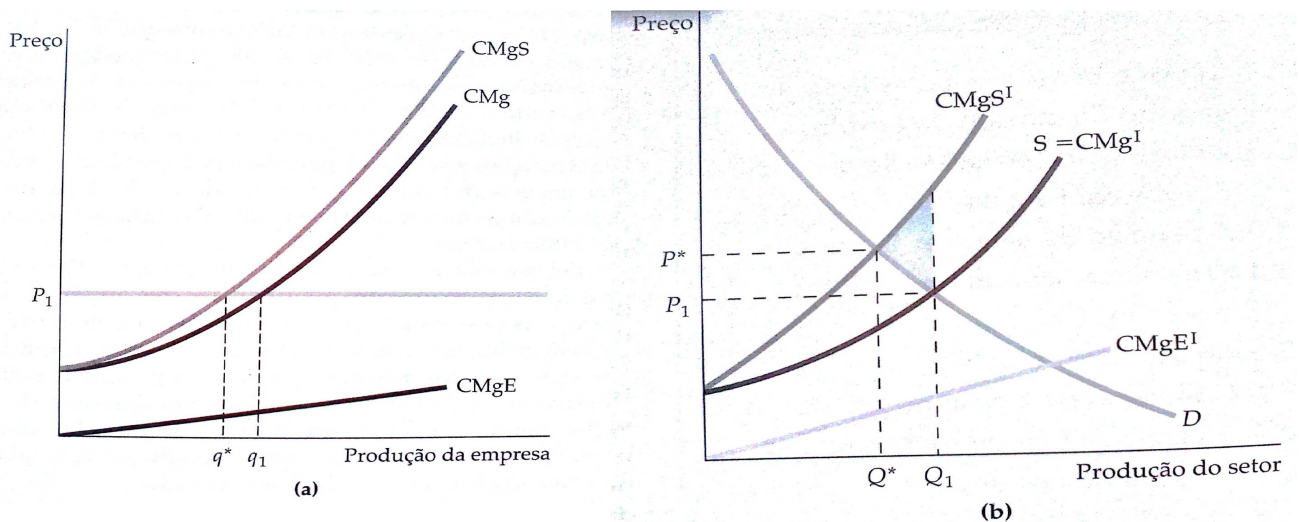
Um aumento de preço também provoca perdas, no entanto, elas são menores que os ganhos para aqueles que sofrem com o efeito adverso da externalidade (PINDYCK; RUBINFELD, 2009). No caso do diesel, toda a população sofre com os efeitos da externalidade negativa, assim, o aumento de preço gera um impacto de proporção ampliada.

Pindyck e Rubinfeld (2009) ilustra isso utilizando o exemplo de produção de aço que despeja poluentes no rio, e, por sua vez, prejudica uma comunidade de pescadores. O raciocínio para a

poluição proveniente de queima de combustíveis fósseis é análogo, só que a poluição efetiva-se no consumo. Parte-se da observação de uma indústria e em seguida observa-se o efeito quando todas as empresas se comportam de forma similar.

Na Figura 6, o gráfico *a* representa a decisão de produção de uma empresa, e o gráfico *b*, as curvas de oferta e demanda de mercado. Parte-se do suposto que todas as usinas provocam externalidades semelhantes e possuem função de produção de proporções fixas, portanto, a única forma de reduzir a emissão de poluentes é reduzindo a produção. O preço  $P_1$  é determinado pela interseção das curvas de oferta e demanda de mercado (gráfico *b*). Na imagem *a* tem-se a curva de Custo Marginal (CMg), a curva de Custo Marginal Externo (CMgE) e a curva de Custo Marginal Social (CMgS). E, tem-se que,  $CMgS = CMg + CMgE$ . Assim, a empresa decide produzir a quantidade que maximiza seu lucro, ou seja, aquela que iguala o preço (e, portanto, a receita marginal) ao custo marginal, que neste caso é  $q_1$ .

Figura 6: Decisão de produção (a) e Curva de oferta e demanda de mercado (b)



Fonte: PINDYCK; RUBINFELD, 2009, p. 576

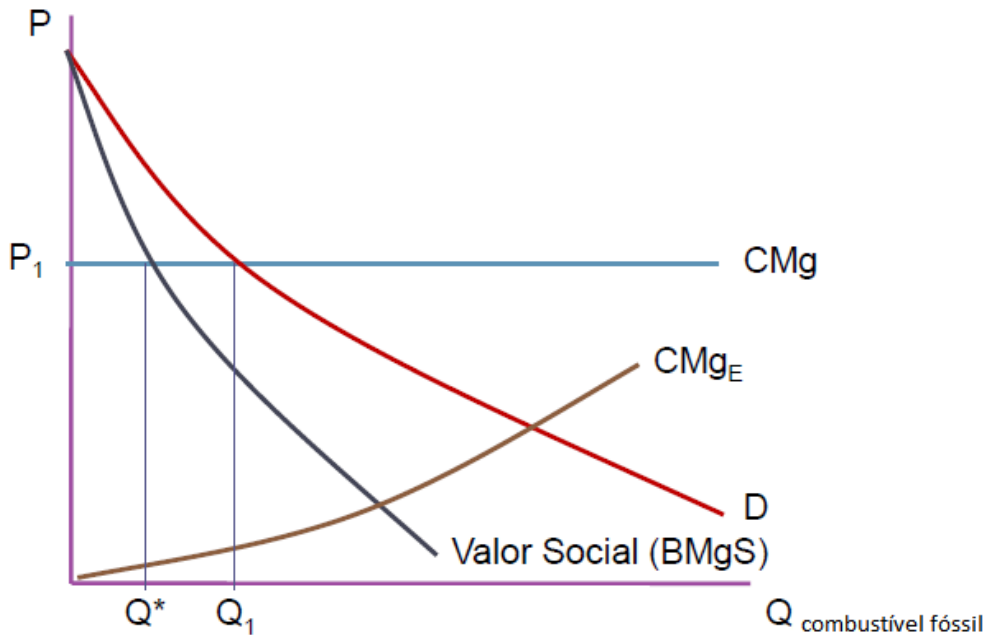
É intuitivo, e importante de ser observado, que o custo externo aumenta conforme o nível de produção aumenta. Portanto, a curva de  $CMgE$  possui inclinação ascendente. Apesar de a quantidade  $q_1$  maximizar o lucro da empresa, ela não é eficiente. O nível de produção eficiente é  $q^*$ , porque é aquele que igual o preço ao  $CMgS$ . Se for considerado que apenas

uma empresa é poluidora, não ocorre alteração no preço do produto. No entanto, se a análise for ampliada para todas as empresas que produzem aquele produto, os efeitos são diferentes.

Na Figura 6, o gráfico *b* as curvas representam o setor, ou seja, a soma de todas as empresas. De forma análoga ao gráfico *a*, tem-se que o nível de produção definido pelo mercado competitivo é  $Q_1$  (interseção da curva de demanda – ou curva de benefício social - com a curva de CMg). Entretanto, o nível de produção que torna o mercado eficiente é  $Q^*$  (interseção da curva de demanda com a curva de CMgS). Portanto, o nível de produção definido pelo mercado é acima do desejado pela sociedade. A ineficiência no mercado é ocasionada pela má definição do preço. No nível de preço  $P_1$  não é incluído o custo marginal externo provocado pela poluição. Assim, o preço é determinado abaixo do custo marginal social, o que torna o mercado ineficiente. Sabemos a amplitude do custo social por meio da diferença entre o CMgS e o benefício marginal. Na imagem *b*, aumentar o nível de produção de  $Q^*$  para  $Q_1$  leva a um aumento de custo social representado pela área do triângulo formado entre as curvas CMgS<sup>1</sup>, D e a produção  $Q_1$ . Ou seja, esse triângulo representa o custo social da ineficiência. Assim, conclui-se que, apesar do maior nível de preço ( $P^* > P_1$ ) é mais vantajoso para a sociedade o nível de produção  $Q^*$ . O aumento do preço leva a uma redução dos lucros dos empresários, no entanto, essa perda é menor que os prejuízos causados caso o nível de produção subisse de  $Q^*$  para  $Q_1$ .

Como dito anteriormente, raciocínio análogo é aplicado para o caso do consumo de combustíveis fósseis. A Figura 7, a seguir, apresenta uma situação de consumo de combustível fóssil que configura uma externalidade negativa de consumo.

Figura 7: Externalidade negativa de consumo: custo marginal



Fonte: Elaboração da autora, 2013

A partir da Figura 7, observa-se que a curva de Custo Marginal Externo apresenta inclinação positiva. Isso ocorre devido à externalidade de estoque, ou seja, o consumo de quantidades adicionais de combustível provoca prejuízos cada vez maiores aos não consumidores, devido ao fato de o impacto negativo ocorrer, principalmente, em decorrência de um acúmulo. Ademais, nota-se que existe um excesso de bens (combustível fóssil) sendo consumido ( $Q_1 - Q^*$ ) cujo custo marginal social é maior que o valor social marginal, o que indica uma perda para a sociedade.

De acordo com Contador (1997), externalidades que provocam poluição e outras adversidades ao meio ambiente são muito particulares e impossíveis de serem internalizadas (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2008). No entanto, os mercados se desenvolveram de 1997 para os dias atuais. E, além disso, as questões ambientais tomaram o papel de maior destaque também quando se trata de mercado. Assim, pode-se afirmar que a criação institucionalizada e regulamentada do crédito de carbono e um mercado específico para os mesmo é um caminho para a internalização dos custos sociais gerados pela poluição provocada tanto por consumidores como por firmas.

A obrigatoriedade do uso do biodiesel estabelecida no Brasil, conforme explicado no capítulo anterior, também é uma forma de internalizar, mesmo que de maneira parcial, a externalidade

gerada (poluição do ar) tanto por firmas como por consumidores. Aqueles que utilizam o diesel como combustível de veículos são obrigados a utilizar conjuntamente o biodiesel, combustível mais caro, mas que, em contrapartida, diminui, em relação ao diesel, as emissões de CO<sub>2</sub>.

Existem alguns caminhos para que, diante das externalidades não incorporadas ao preço do bem ou serviço, se chegue a um resultado mais eficiente. Para tornar a alocação dos recursos mais eficiente, é necessário forçar os agentes a pagarem o preço correto de suas ações (VARIAN, 1992).

Entretanto, para o presente trabalho, antes de verificar possíveis formas de regulação, é importante a compreensão do que é recurso de uso comum e as suas implicações. Algumas formas de regulamentação para induzir o pagamento das externalidades e conduzir a um mercado mais eficiente são apresentadas na terceira subseção.

### 3.2 RECURSOS DE USO COMUM

A maior parte dos recursos naturais usados por vários indivíduos pode ser classificada como recurso de uso comum. Os recursos assim classificados, de forma geral, apresentam quantidade finita e o uso deles por uma pessoa implica na redução da quantidade disponível que outra pode utilizar (OSTROM; GARDNER; WALKER, 1994 *apud* OSTROM, 2002).

Normalmente, os recursos de uso comum são suficientemente abundantes para que vários agentes possam utilizá-lo ao mesmo tempo, de modo que, os esforços para excluir potenciais usuários são marginais. Cabe esclarecer que, apesar de, frequentemente, recursos naturais serem classificados como recursos de uso comum, estes últimos não estão limitados a recursos naturais (BLOMQUIST; OSTROM, 1985 *apud* OSTROM, 2002).

Para Seregi e outros (2012), a questão que está por trás do enquadramento de um bem em público ou privado é a decisão de o Estado intervir, ou não, no uso do bem. Os autores colocam ainda que existem classificações intermediárias entre o bem público puro e o bem privado, quando fica difícil definir qual o papel do Estado.



Diante de uma frágil definição dos direitos de propriedade<sup>7</sup>, comumente chega-se a situação de superexploração de recursos de uso comum. Nesta situação, o livre acesso que os agentes têm ao recurso pode provocar uma exaustão do mesmo, o que leva a uma perda para todos. Esse fenômeno é conhecido na literatura como a tragédia dos comuns.

Assim, uma forma de solucionar o problema é a regulação. Ela pode ocorrer por meio de limites ao uso do recurso, taxas ou, até mesmo, o controle privado do mesmo (WEYDMANN, 2005). Em algumas situações, pode ainda ser indicada, a combinação de diferentes formas de regulação.

É importante a compreensão de que, para uma sociedade usar um recurso comum sem levá-lo a exaustão, são necessárias mudanças no campo da moral, dos valores e das ideias. E mais, refletir a respeito dos problemas sociais não é suficiente. É preciso abdicar de privilégios para evitar o esgotamento do recurso. Deste modo, os avanços técnicos (entendido como avanço apenas das ciências naturais) são apenas uma parcela do esforço necessário para garantir o bom uso coletivo do recurso (HARDIN, 1968).

Isso, porém, não significa dizer que melhorias técnicas não são muito relevantes para a população. Por exemplo, os avanços técnicos que envolvem a produção de novos combustíveis, como é o caso do biodiesel, ou alteração dos combustíveis já existentes, como é o caso do diesel, facilitam a contenção das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Entretanto, elas não são suficientes para resolver o problema. Por isso, essas soluções são aliadas a intervenções feitas pelo Estado. Estas são necessárias porque na situação atual, apenas uma parcela ínfima da população estaria disposta a pagar por um combustível mais caro para causar menor impacto ao meio ambiente.

---

<sup>7</sup>A Constituição Federal de 1988 (art. 5º) garantiu a todos os brasileiros e aos estrangeiros residentes na nação a propriedade como Direito Fundamental ao lado da vida, liberdade, igualdade e segurança. Afirmou ainda, que o gozo deste Direito deveria estar alinhado com os anseios da sociedade como um todo, evitando o abuso do proprietário em relação à coletividade. Quando abordou o tema da Ordem Econômica e Financeira a Carta Magna estabeleceu como princípios gerais da atividade econômica (art.170), além do respeito à propriedade, a sua função social entre outros, a defesa do meio ambiente. Sendo assim, o texto constitucional leva a crer que ao se apropriar de determinado bem, o indivíduo tem que respeitar o direito dos outros cidadãos e preservar a natureza em que está inserido. Tudo isso legitima constitucionalmente o Estado Brasileiro a regular o Direito de propriedade evitando abusos e outros tipos de malefícios.

A rigor, compreende-se que o ar que respiramos pode ter diferentes composições, a depender do local que ele é colhido para análise. Entretanto, para simplificar o entendimento do presente estudo, é possível supor que existem dois tipos de ar: o ar limpo e o ar poluído, desconsiderando-se também a imensa quantidade de estágios que existem entre essas duas categorias.

Se não existisse o ar poluído, ou seja, se ar limpo não se convertesse em ar poluído independente da forma como fosse utilizado, era possível afirmar, simplesmente, que o ar é um bem público. No entanto, a existência do ar poluído conduz a uma análise mais cuidadosa. Quando um agente faz uso inapropriado do ar puro, ele o transforma em ar poluído, e, portanto, deixa de ser do interesse de outro agente que queira utilizar apenas o ar limpo.

Tendo como base o exposto por Seregi e outros (2012), o ar puro é um bem misto, visto que ele é não excludente mas é rival, ou seja, não é possível impedir que as pessoas possam usufruir do ar puro, mas, o uso dele por uma pessoa diminui a quantidade disponível para as demais. Conforme Ostrow (2002), o trabalho adota a classificação de que o ar limpo é um recurso de uso comum. Isto é, pode ser amplamente utilizado por vários agentes ao mesmo tempo, porém, com o uso excessivo e descuidado, o recurso se esgota.

Segundo Smith (1983), se for permitido aos indivíduos agir defendendo seus interesses privados, sem interferência do Estado na Economia, isso promoverá não só o benefício privado, mas também o benefício coletivo. Smith (1983) defende ainda que, dessa forma, o mercado atinge a autorregulação, e o Estado deve exercer funções restritas, como por exemplo, defesa nacional. Atendo-se somente ao caso dos recursos de uso comum, é possível perceber que este raciocínio não se aplica, e que o uso desse tipo de recurso, de forma indiscriminada, com foco apenas em ganhos privados, leva o recurso à exaustão.

A situação geral em casos de recursos de uso comum é: cada agente obtém um maior ganho privado com o uso indiscriminado do recurso, o que o leva a desconsiderar o ganho social e utilizar o recurso sem se preocupar com seu esgotamento. No caso do ar limpo, o agente obtém maior ganho privado consumindo um combustível mais barato. E é isso que ele faz, sem levar em conta na sua decisão, que o uso de um combustível mais caro, porém, menos poluente, gera um ganho social, e mantém o recurso disponível em maior quantidade.

Portanto, a maneira de utilizar esse tipo de recurso é que provoca problemas, e no limite, o esgotamento. Segundo Hardin (1968) a educação é a uma forma de evitar tal tendência. No entanto, para que esta funcione, é necessário que o conhecimento seja constantemente atualizado ao longo das gerações. É fácil perceber que as necessidades humanas e os recursos utilizados alteram-se ao longo dos anos, o que explica a necessidade de atualização do conhecimento.

As opções de como coordenar o uso dos recursos de uso comum são várias, e sempre passíveis de questionamentos. Entretanto, apesar das deficiências, é preciso adotar uma delas, para que se evite a destruição do recurso, que será fato caso a regulação não exista. No caso específico da poluição, não é difícil para o agente econômico constatar que o custo privado de poluir (que é rateado com a população) é inferior ao custo de diminuir ou purificar os resíduos antes de lançá-los ao ar. Assim, se é permitido ao agente econômico comportar-se livremente, apenas de acordo com seus custos privados, com certeza ele irá optar pela primeira opção (HARDIN, 1968).

O ar é um recurso que não pode ser cercado. Deste modo, simplesmente estabelecer uma propriedade privada não resolve o problema. No entanto, é necessário que todos entendam que cada indivíduo é proprietário do ar, e assim, o uso de cada um deve respeitar o uso do próximo. A forma de fazer com que os cidadãos ajam de acordo com essa premissa é a partir de leis ou dispositivos fiscais que os obriguem (HARDIN, 1968).

Assim, configuram-se duas situações. Uma, é aquela que é mais interessante para o agente não poluir do que arcar com as sanções. A outra, o agente é obrigado a pagar pela não poluição, sem direito à escolha. Como é o caso do uso do biodiesel, o agente é obrigado a arcar um combustível mais caro e, conseqüentemente, poluir menos, sem direito a escolher consumir apenas o diesel. Assim, o agente é impedido de tomar decisões com base apenas nos ganhos privados.

É importante notar que as leis são elaboradas com base na moral estabelecida na sociedade, e que a moral altera-se com o transcorrer do tempo e com as mudanças sociais ocorridas. Desta forma, entende-se imprescindível a atualização das leis, de forma que elas possam sempre, ou quase sempre, estar condizentes com as normas morais contemporâneas.

Segundo Hardin (1968), “os arranjos sociais que produzem a responsabilidade são arranjos que criam coerção, de algum tipo.” No entanto, para inibir ações não necessariamente precisam ser impostas proibições. Em alguns casos, existem outros tipos de ações que são suficientes para impedir determinadas atitudes, sendo a tributação uma delas. (HARDIN, 1968). Por exemplo, no Brasil, se o governo pretende induzir o consumo de etanol em detrimento da gasolina, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE provenientes do setor de transporte e, conseqüentemente, diminuir os males causados por essas emissões, ele pode isentar os produtores de etanol de impostos, como, por exemplo, PIS e COFINS, dando assim uma vantagem competitiva ao etanol. Dessa forma, ele induz o consumo desse combustível sem a necessidade de obrigar os consumidores a adquirirem o mesmo.

A utilização de impostos como meio de intervenção apresenta-se contemporaneamente na literatura ambiental. No entanto, cabe ressaltar que, a ideia de tributação foi proposta e desenvolvida por Pigou (1920). Por isso, até os dias atuais, comumente denomina-se esses impostos de ‘imposto pigouviano’ (GIL *et al.*, 2005). A utilização de impostos na tentativa de mitigar externalidades será apresentada na seção seguinte.

Assim, de forma mais suave, diz-se que os indivíduos devem ser incentivados a emitir menor quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Mas o que se pode oferecer em troca é uma maior quantidade de ar limpo disponível, que proporciona melhor qualidade de vida para a população como um todo. Entretanto, como cada indivíduo valora o ar limpo é algo muito pessoal e diversificado na população.

Não é necessário nenhum estudo complexo para se chegar à conclusão que esse incentivo é insuficiente para a maioria da população, quando se observa que é inevitável um maior custo para realizar tal feito. Dessa forma, é necessário que existam formas que garantam o cumprimento de tal atividade.

Como já foi citado, no caso do biodiesel, o Estado obriga os vendedores de diesel a comercializarem o produto com um percentual de biodiesel misturado a ele. Assim, existe uma medida coercitiva que faz com que os cidadãos consumidores de diesel emitam menor quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, através do consumo concomitante do biodiesel. Os vendedores que descumprirem as normas sofrerão sanções.

O ideal é que a coerção existente na sociedade fosse a coerção mútua, ou seja, aquela definida mutuamente por todas as partes que são afetadas pela coerção (HARDIN, 1968). Isto é viável em pequenas comunidades, como afirma Ostrom (1984, 1995, 2002). A coerção mútua, ou seja, aquelas situações em que um agente coage o outro e vice-versa, geralmente acontece em ambientes ou sociedades em que existem normas implícitas, decorrentes de cultura, valores, identidade, religião etc. Alguns autores afirmam que esses aspectos influenciam a forma que os indivíduos se comportam e, conseqüentemente, isto causa impactos nas decisões e nos resultados econômicos.

Pode-se citar Akerlof e Kranton (2000) como exemplos desse leque de autores. Eles partem da ideia de que identidade pode ser entendida como o sentimento das pessoas, e ela pode auxiliar na explicação de muitos fenômenos econômicos. A identidade pode ainda provocar um novo tipo de externalidade, sob o entendimento de que a ação de uma pessoa pode provocar uma resposta (reação) em outras pessoas. Ademais, de acordo com esses autores, as categorias sociais são importantes para o comportamento e as interações humanas.

Ainda de acordo com Akerlof e Kranton (2000), o comportamento das pessoas é usualmente julgado como adequado ou até mesmo destrutivo, de acordo com a identidade de quem está avaliando aquele ato. Identidade revela uma forma de preferência que pode ser modificada, visto que, as noções de identidade alteram-se dentro de uma sociedade. E mais, considerando que a identidade é ponto fundamental para as escolhas econômicas, a escolha desta pode ser a mais importante das decisões econômicas.

Um exemplo clássico na literatura está na obra de Weber (2004), que teve sua primeira edição publicada no início do século XX. Nela, o autor afirma que a religião das pessoas, como fator que influencia escolhas, tem interferência sobre o desenvolvimento do capitalismo, e que os protestantes, devido a diversas características apresentadas na obra, são pessoas mais propícias a desenvolver esse sistema econômico.

Pode-se pensar, também, como exemplo para ilustrar a influência da identidade, o hábito de jogar ou não lixo na rua. Em muitas sociedades, isso é uma prática normal, e em outras é considerada abominável. Desta forma, nas sociedades que rejeitam essa prática, ainda que em parte delas não exista uma sanção direta, como, por exemplo, uma multa, aquele agente que

praticar tal ação será, provavelmente, discriminado pelos demais agentes daquela sociedade, passando por constrangimento. Segundo Akerlof e Kranton (2000), “Violar as prescrições evoca ansiedade e desconforto em si mesmo e nos outros.” (tradução da autora).

Apesar de, em certo grau, a depender do julgamento de valor de cada indivíduo, medidas coercitivas implicarem na liberdade dos indivíduos, cabe o reconhecimento de que um pacto coletivo que englobe toda a sociedade é praticamente impossível de ser alcançado, considerando que todos no mundo deveriam seguir a risca os parâmetros determinados. Ou seja, seria praticamente impossível provocar um impacto na redução de emissão de CO<sub>2</sub>, se a decisão de consumir o biodiesel fosse voluntária ou sem nenhum tipo de sanção.

A afirmação de que leis e sanções estão ligadas a redução da liberdade é uma interpretação, que pode ser muitas vezes restrita. Quando é observada a sociedade ao invés de um indivíduo de forma isolada, é possível perceber que, a partir do momento em que a liberdade de um indivíduo reduz a liberdade do outro, as leis podem, proporcionar, na verdade, mais liberdade, e não menos.

Todavia, alguns autores como, por exemplo, Coase (1960), afirmam que, na verdade, a questão é recíproca. Alguém sempre sairá prejudicado. Supondo dois agentes, A e B, o ponto central é definir quem será prejudicado, A ou B. Dito de outra maneira, é preciso definir se A terá o direito de prejudicar B, ou vice-versa. Via de regra a situação se estabelece de maneira que um paga pelo direito de causar dano ao outro. Isso está relacionado com dois aspectos, à distribuição inicial de direito de propriedade e a valoração pessoal de determinado bem ou direito. Se, inicialmente, o direito de não ser lesado foi concedido a A, então, B deve pagar pelo ato de lesá-lo, e vice versa. Ademais, a situação é também influenciada pela valoração que cada um dá ao objeto em questão, sem se preocupar inicialmente com a capacidade de pagamento de cada agente. Aquele que der maior valor ao objeto de disputa irá pagar pelo direito de prejudicar o outro.

Por exemplo, em um condomínio de casas é estabelecido que todas as casas devem ser pintadas de azul. Entretanto, o morador da casa A deseja pintar sua casa de vermelho. Se isso for uma questão muito importante para ele, ele pagará aos moradores de todas as outras casas o direito de mudar a cor de sua casa. Caso o morador da casa A não considere essa questão

relevante, ele manterá sua casa na mesma cor das demais. Cabe observar, que a questão também está ligada a distribuição inicial dos direitos, como dito anteriormente. O morador da casa A só precisa pagar pelo direito de mudar a cor de sua casa porque foi determinado inicialmente que todas as casas deveriam ser da mesma cor.

Coase (1960) afirma que essas situações não precisam de regulação para que se obtenha o melhor resultado global possível. E mais, que o resultado será o mesmo, independente de a regulação existir ou não. Para exemplificar a questão, ele cria uma situação com dois proprietários de terra vizinhos, um com criação de gado e outro com plantação. Diante da ausência de cercas, o gado danifica a plantação. Portanto, o criador de gado inclui em seus custos anuais o valor das colheitas destruídas, e só aumenta seu rebanho se o valor da carne compensar também esse custo.

Entretanto, na observação da realidade, ao menos nos dias atuais, é possível perceber que, usualmente, esses custos adicionais não são incorporados de forma voluntária. Frequentemente existem leis, normas, regimentos etc., que determinam a incorporação dos custos adicionais. Portanto, em muitos casos, essa incorporação já é resultado da existência de regulação.

Todavia, Coase (1960) afirma ainda que, mesmo que o produtor de gado não considere os custos adicionais da perda da lavoura, a alocação de recursos será a mesma. Ou seja, para ele, mesmo que o produtor de gado não assuma os custos da lavoura destruída, a alocação de recursos será a mesma. Entretanto, ele parte do suposto que o produtor de gado terá o mesmo tamanho de rebanho, independente de assumir ou não os custos do agricultor. Na prática, aparentemente, sem ter um aumento nos custos devido às perdas da plantação, o produtor não teria motivos para não aumentar o seu rebanho, o que inviabilizaria a plantação do agricultor.

No geral, entende-se que o uso de recursos comuns necessita de regras, sejam elas estabelecidas por costumes e valores de uma sociedade ou grupo, sejam elas definidas de formas mais pragmáticas por leis e regulamentos. Como o primeiro caso tem êxito em situações mais restritas, ocorre que, frequentemente, o Estado intervém de modo a regular o uso desses recursos. A sessão seguinte apresenta algumas formas de exercer essa regulação.

### 3.3 REGULACÃO

É importante ter claro que regulacão e regulamentacão, apesar de muito similares quando se tem o dicionário como referência, possuem conceitos técnicos distintos. Muitas vezes, a confusão surge também em decorrência de problemas de traduçã (ROCHAEL, 2005).

De acordo com Aragão (2001 *apud* ROCHAEL, 2005), regulacão é um conjunto de medidas que, independente de concretas ou abstratas, são legislativas, administrativas e convencionais. Por meio delas, o Estado restringe a liberdade privada ou atua de forma indutiva sobre o comportamento dos agentes econômicos, e, portanto, exerce influência, determinacão ou controle sobre os agentes. Com isso, o Estado conduz os agentes econômicos a caminhos socialmente mais desejáveis e evita que sejam feridos os interesses sociais estabelecidos no marco da Constituçã (ROCHAEL, 2005). Regulacão pode também ser definida como “o estabelecimento e a implementacão de regras estatais para atividade econômica, destinadas a garantir o funcionamento equilibrado da economia, de acordo com determinados objetivos públicos” (TOMAS; VICIUS, 2004 *apud* MAFRA, 2009).

Tratando mais especificamente de regulacão econômica, Di Pietro (2003, p. 29) afirma que o termo define-se como “conjunto de regras de conduta e de controle da atividade privada do Estado, com a finalidade de estabelecer o funcionamento equilibrado do mercado” Assim, nota-se que, no momento da regulacão, apesar de o Estado atuar de forma a limitar a liberdade dos indivíduos, ele busca a proteçã do interesse público.

Já a atividade de regulamentacão é exclusiva do chefe do Poder Executivo, conforme determina o artigo 84, inciso IV e Parágrafo único da Carta Magna<sup>8</sup> (ROCHAEL, 2005). O termo regulamentacão, segundo Mafra (2009), designa o papel de impor regras de modo a viabilizar o cumprimento da lei de forma fiel. Nenhum ordenamento jurídico é criado ou modificado. Deste modo, de acordo com Mello (2007), regulamento é

---

<sup>8</sup>Constituçã Federal de 1988, art. 84: Compete privativamente ao Presidente da República: ... IV - sancionar, promulgar e fazer publicar as leis, bem como expedir decretos e regulamentos para sua fiel execuçã; ...Parágrafo único. O Presidente da República poderá delegar as atribuicões mencionadas nos incisos VI, XII e XXV, primeira parte, aos Ministros de Estado, ao Procurador-Geral da República ou ao Advogado-Geral da Uniã, que observarã os limites traçados nas respectivas delegações.



(...) ato geral e (de regra) abstrato, de competência privativa do Chefe do Poder Executivo, expedido com a estrita finalidade de produzir as disposições operacionais uniformizadoras necessárias **à execução de lei** cuja aplicação demande atuação da Administração Pública (grifo original).

Nessa mesma linha, Moreira Neto (2003) afirma que

(...) função política, no exercício de uma prerrogativa do poder político de impor regras secundárias, em complemento as normas legais, com o objetivo de explicitá-las e de dar-lhes execução, sem que possa definir quaisquer interesses públicos específicos nem, tampouco, criar, modificar ou extinguir direitos subjetivos.

Então, percebe-se que a expressão “agências reguladoras”, comumente utilizada, deixa dúvidas. Mas, diante do exposto, é possível constatar que as atividades desses órgãos estão ligadas à regulação. As agências de regulação compõem a estrutura da Administração Indireta e têm a função de fiscalizar e regular os concessionários e permissionários presentes na prestação de serviços públicos e exploração de atividades econômicas. As agências atuam em casos concretos. Quando elas se deparam com situações que ferem o equilíbrio do mercado, atingem a concorrência ou prejudicam o serviço público e os seus usuários, elas deliberam atos normativos, sempre respeitando normas superiores, para organizar determinado setor, de acordo com a realidade apresentada por ele (DI PIETRO, 2003 *apud* ROCHAEL, 2005). Uma exceção muito comum: agências reguladoras podem ser capturadas por grupos de interesse e, dessa forma, nem sempre suas decisões são ótimas do ponto de vista social (para uma discussão mais aprofundada sobre Teoria da Regulação, que discute as reais motivações das agências reguladoras, ver Viscusi e outros (2000)).

Como dito anteriormente, as externalidades, independente de seu tipo, provocam ineficiência de mercado. A regulação é um mecanismo existente para contornar esse efeito e tornar o mercado o mais eficiente possível. Cabe observar que, a regulação pode ser feita de diferentes maneiras.

Aqui, são apresentadas algumas formas que se relacionam com a questão de emissões de CO<sub>2</sub>, não implicando, porém, que são esgotadas as formas interligadas com esse tema. Apesar de diferentes, todos os métodos têm o objetivo de tornar o uso do recurso, o ar limpo, mais contido, de forma que evite a sua exaustão. Ademais, é importante notar que em algumas situações eles podem ser usados de forma combinada.

É de responsabilidade dos governos a formulação de incentivos adequados, de modo que permita aos produtores e os consumidores optarem por ações que evitem problemas ambientais futuros. É possível chegar a oportunidades vantajosas tanto para o ambiente e a saúde pública quanto para a economia (OCDE, 2008).

Uma maneira de controlar a emissão de CO<sub>2</sub>, para incentivar que os agentes usem de forma moderada o ar limpo disponível, é a fixação de um padrão, ou seja, o estabelecimento de um limite legal de poluentes que pode ser emitido. Para se enquadrar no padrão pré-determinado, as empresas incorrem em custos. Desta forma, empresas só permanecem ou entram no mercado caso o preço do produto permaneça superior à soma do custo médio de produção com o custo de redução de poluição (PINDYCK; RUBINFELD, 2009).

Apesar de esse método de regulação ser comumente abordado sob a perspectiva de uma externalidade de produção, em tese, pode ser aplicado também a consumidores. A depender de que bem esteja sendo tratado, a forma de controle dos consumidores inviabiliza o processo. Entretanto, no caso de bens que sejam consumidos por uma parcela pequena e determinada da população, o método pode ser útil, se atender ainda outras condições que serão citadas logo a frente.

No caso do consumo do diesel, para pensar sob a perspectiva do consumo, tem-se que observar sobre um padrão de emissão definido para cada consumidor ou, para cada veículo que utilize diesel como fonte de energia. O consumidor pode ser pensado como consumidor direto, o proprietário do veículo, ou o indireto, aquele que adquiriu um bem que é transportado por um veículo movido a diesel, por exemplo. Esses detalhes dificultam ainda mais viabilizar a forma de fiscalização do cumprimento de um padrão.

Outra forma de controlar as emissões de CO<sub>2</sub> em busca de um mercado mais eficiente é por meio da imposição de taxas<sup>9</sup> sobre a emissão de poluentes, sendo ela arrecadada sobre cada

---

<sup>9</sup>No Brasil, a Constituição Federal institui que as Taxas (art. 145, inciso I) são Tributos criados em razão do exercício do poder de polícia ou pela utilização de serviços públicos determinados ou determináveis (específicos) e que podem ser gozados individual ou coletivamente (divisíveis). Tem-se como significado do “poder de polícia”, segundo o Código Tributário Nacional (Lei 5.172/66), “atividade da administração pública que, limitando ou disciplinando direito, interesse ou liberdade” (Art. 78). Esta ação estatal tem como escopo regular a prática de atos ou omissões dos administrados protegendo o interesse público “concernente à segurança, à higiene, à ordem, aos costumes, à disciplina da produção e do mercado, ao exercício de atividades

unidade de poluente emitido, por uma empresa ou um consumidor (PINDYCK; RUBINFELD, 2009). Diante de empresas que adotam um preço equivocado, que não consideram os custos dos danos ao meio ambiente, a imposição de uma taxa pode conduzir a uma alocação eficiente de recursos. As taxas corretivas são comumente conhecidas como taxas pigouvianas (VARIAN, 2003). De acordo com a abordagem de Pigou (1920), os impostos ambientais devem ser cobrados na fonte de emissões e devem ser iguais aos danos marginais (HEINE; NORREGAARD; PARRY, 2012).

Mais uma vez cabe a observação que esse controle sobre os consumidores de diesel é complicado. É difícil ‘seguir’ cada consumidor no tempo e no espaço. Ademais, a emissão depende também das especificações técnicas de cada veículo utilizado. A decisão entre utilizar uma taxa ou definir um padrão de emissão para conter as emissões de CO<sub>2</sub> depende de vários fatores. Um deles é: quais são as informações disponíveis a respeito dos agentes envolvidos na externalidade em questão. Deve também ser considerado qual o custo do controle de emissão e a curva de custo marginal externo das empresas envolvidas (PINDYCK; RUBINFELD, 2009).

Entre janeiro e novembro de 2012, a União Europeia aplicou uma taxa para companhias aéreas pela emissão de carbono. As empresas, independente da nacionalidade, eram obrigadas a comprar parte de suas emissões de carbono. Todavia, diante da impossibilidade de acordos internacionais, e dos protestos vindos de diferentes países, como por exemplo, Estados Unidos, China e Índia, a taxa foi suspensa (TAXA..., 2011).

Diante de empresas que apresentam custos diferentes e da falta de informação a respeito de custos e benefícios, a solução mais eficiente para mitigar os efeitos das externalidades pode ser a permissão transferível de emissões. Ou seja, cada agente tem uma cota de CO<sub>2</sub> que pode emitir, no entanto, essas cotas são negociáveis. Partindo do raciocínio de Varian (1992), a situação pode ser pensada de forma teórica e razoavelmente simplificada. Supondo que existam duas firmas, e um mercado onde a poluição pode ser negociada, tem-se que: a firma 1 produz  $x$  unidades de um bem (e com isso, inevitavelmente,  $x$  unidades de poluição). Tendo, neste mercado, a poluição o preço de  $r$ , a firma 1 pode decidir quantas unidades de poluição

---

econômicas dependentes de concessão ou autorização do Poder Público, à tranquilidade pública ou ao respeito à propriedade e aos direitos individuais ou coletivos.” Sendo assim, deduz-se de uma análise sistemática que a administração pública pode estabelecer taxas tendentes a regular determinada produção, atividade ou mercado.

ela quer vender, e a firma 2 pode decidir quantas unidades de poluição deseja comprar,  $x_2$ . A maximização do lucro torna-se:

$$\pi_1 = \max_{x_1} px_1 + rx_1 - c(x_1) \quad (1)$$

$$\pi_2 = \max_{x_2} -rx_2 - e(x_2) \quad (2)$$

Assim, tem-se que as condições de primeira ordem são:

$$p + r = c'(x_1) \quad (3)$$

$$-r = e'(x_2) \quad (4)$$

Nas situações de equilíbrio, em que a oferta e a demanda por poluição forem iguais, ou seja,  $x_1 = x_2 = x_e$ , as condições de primeira ordem passam a ser:

$$p = c'(x_e) + e'(x_e) \quad (5)$$

O preço de equilíbrio da poluição,  $r$ , pode ser um número negativo devido ao fato de a poluição ser, na verdade, um “mal”, e não um bem. Cabe reconhecer que, na prática, é difícil estimar de maneira confiável todos os custos dos danos causados ao meio do ambiente, saúde e da produtividade, pelas atividades econômicas. No entanto, se todos os custos estiverem contidos em seus preços, as atividades poluidoras serão mais caras, criando assim um incentivo de preços para aumentar a eficiência energética e dos recursos (OCDE, 2008).

Atualmente, empresas de muitos países, como por exemplo, Japão e Estados Unidos, já efetuam esse tipo de transação, por meio de bolsa de valores, leilões, e outros mercados. O Protocolo de Kyoto deu forte colaboração para o estabelecimento desse mercado, devido à regulamentação do MDL.

Outro ponto fundamental para o controle das emissões de  $\text{CO}_2$  é o desenvolvimento de pesquisas e novas tecnologias. Já foram criadas muitas soluções tecnológicas para evitar a degradação do meio ambiente, e muitas outras estão sendo desenvolvidas. É possível afirmar

que elas estarão cada vez mais competitivas e economicamente viáveis. Aliado a isso, deve-se garantir que a globalização proporcione o uso mais eficaz dos recursos, bem como a difusão das melhores práticas tecnológicas (OCDE, 2008). Ou seja, tão importante quanto a produção de conhecimento é o compartilhamento dele, principalmente quando se trata de uma questão que deve ser resolvida globalmente, e não apenas, localmente.

A obrigatoriedade de adição do biodiesel ao diesel não se enquadra exatamente em nenhuma das formas de regulação apresentadas acima. Entretanto, pode-se afirmar que funciona a luz das duas primeiras. De certa forma, ao estabelecer que cada litro de diesel comercializado tem que conter 5% de biodiesel, o governo está estabelecendo para todos os consumidores um padrão de emissões menor que o natural, por meio da determinação de um padrão de mistura de combustíveis. A emissão exata não é padronizada. Para isso, seria necessário padronizar os veículos, visto que a emissão depende das especificações técnicas dos mesmos.

Além disso, seria necessário padronizar o consumo. Por isso, cabe ainda observar que o caso do diesel/biodiesel não pode ser enquadrado exatamente como regulação por padrão de emissões, porque cada agente pode consumir ilimitadamente, e em qualquer veículo, só que emitindo menor quantidade de CO<sub>2</sub> do que estaria emitindo se utilizasse o diesel puro.

Sob outra perspectiva, pode-se afirmar que os consumidores de diesel pagam uma espécie de 'taxa'. Como o biodiesel é um combustível mais caro que o diesel, de certa forma, o consumidor tem que pagar para poder consumir o diesel. E essa é mais uma diferença do modelo apresentado acima, onde os agentes pagariam uma taxa de acordo com a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida, e não com a quantidade de combustível utilizado.

Apesar das diferenças existentes entre os modelos teóricos apresentados e o que acontece de fato no tocante às emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo do diesel no transporte brasileiro, elas não invalidam o sistema utilizado no Brasil. Cabe compreender que as flexibilizações realizadas, na verdade, permitem a fiscalização de forma efetiva. Porque ela ocorre na fase de comercialização, e não no consumo em si. Caso contrário, os custos tornam-se tão elevados que inviabilizam as fiscalizações e, conseqüentemente, a regulação. Ressalta-se também que a utilização do biodiesel é um exemplo prático da importância de pesquisas

voltadas a questão ambiental, e também, do desenvolvimento institucional para viabilizar as soluções.

Diante do exposto neste capítulo, é possível ter em mente que as ações dos agentes, sejam eles consumidores ou produtores frequentemente influenciam o bem-estar de outros agentes, provocando o que se chama de externalidade. Esta ocorre quando o custo social é diferente do privado ou quando o valor social é diferente do valor privado. A maior dificuldade de contorná-la é a ausência de mercados que comercializem o benefício ou custo gerado para a sociedade.

Desta forma, é necessário que o Estado atue como regulador, garantindo que os direitos existam e sejam respeitados, de forma a deixar o mercado o mais eficiente possível. O Estado também deve atuar para impedir a exaustão dos recursos que são de uso comum da sociedade, garantindo assim, a propriedade que cada cidadão tem sobre esse recurso.

A forma pela qual o Estado irá fazer isso deve ser decidida caso a caso, pois não existe uma solução universal para as externalidades. Em muitos casos, uma combinação bem estruturada dos instrumentos pode aumentar o potencial dos mesmos. Além disso, os instrumentos de mercado, como, por exemplo, impostos e taxas, supressão dos subsídios com efeitos negativos para o ambiente etc., são importantes para indicar, tanto para empresários como para famílias, por meio da política de preços, a importância de padrões mais sustentáveis de produção e consumo (OCDE, 2008). Porém, percebe-se, que apesar das dificuldades em torno do controle da poluição, ela pode, ao menos parcialmente, ser controlada.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar o modelo utilizado para estimar a curva de demanda do diesel e, também, a metodologia para estimar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do uso do biodiesel no transporte brasileiro. Além disso, adota uma forma de referenciá-las monetariamente. Ressalta-se que, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> estimadas são, tanto passadas, de 2005 a 2012, como futuras, de 2013 a 2017<sup>10</sup>.

Na primeira seção apresenta-se o procedimento que antecede a estimativa da curva de demanda do diesel. A segunda seção, além da estimativa da curva de demanda do diesel propriamente dita, apresenta a metodologia utilizada para estimar o consumo futuro do diesel e do biodiesel. A terceira e quarta seção apresentam, respectivamente, o cálculo das emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, passadas e futuras e a forma de monetizar os resultados encontrados e calcular seu Valor Presente.

### 4.1 ANÁLISE PRELIMINAR PARA A CURVA DE DEMANDA ESTIMADA DO DIESEL

Com base na literatura (ver Burnquist e Bacchi (2002), Nappo (2007)), as variáveis utilizadas para estimar a curva de demanda por gasolina (considerando-se inexistência de bem substituto) e, portanto, de forma análoga, a demanda por diesel é: consumo do combustível, preço do combustível e renda (PIB). As séries são mensais e referem-se ao Brasil. A princípio, toma-se como base o seguinte modelo:

$$C_{diesel_t} = \alpha + \beta_1 P_{diesel_t} + \beta_2 Y_t + Mês + \varepsilon_t \quad (6)$$

Onde:

$C_{diesel}$  = consumo de diesel,

$P_{diesel}$  = preço real do diesel,

$Y$  = PIB real

$Mês$  = matriz de *dummy* de mês, para controlar para a sazonalidade.

---

<sup>10</sup>A estimativa de emissões evitadas passadas restringe-se a esse período devido à limitada disponibilidade de dados. Já a estimativa de emissões evitadas futuras não é feita para um período mais longo para evitar um crescimento exacerbado do erro, inclusive porque o modelo é baseado em uma série curta, devido a recente utilização do biodiesel.

Para a variável consumo utiliza-se como *proxy* vendas de diesel pelas distribuidoras no Brasil. Os dados são obtidos na Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os dados são coletados em m<sup>3</sup> e transformados para litro.

Os dados de preço são obtidos da mesma fonte. A informação adotada é o preço médio ao consumidor, em real por litro (R\$/l). Cabe observar que o desvio padrão informado é baixo. Os preços reais são calculados dividindo-se o preço corrente pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). O único combustível utilizado na equação é o diesel, devido à falta de substituto (a curto prazo) para o mesmo, no setor de transporte brasileiro.

Os dados do PIB (nominal) são obtidos no Banco Central do Brasil. No sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram obtidos os dados do deflator do PIB. Entretanto, a informação disponibilizada é uma série anual. Como o modelo utiliza séries mensais de dados, foi feito um desmembramento para uma série mensal, a partir da relação entre o deflator e o IPCA, obtido em uma série mensal no sítio do Banco Central do Brasil, mas com dados fornecidos pelo IBGE. Para a conversão, assumiu-se que o IPCA e o deflator do PIB apresentam padrões de crescimento semelhantes.

Os dados de consumo e renda não aparecem no modelo de forma *per capita* devido à indisponibilidade de dados mensais de população. Poderiam ser utilizados dados de população em idade ativa, no entanto, eles só estão disponíveis para seis regiões metropolitanas. Além disso, o trabalho de Rao e Rao (2008) fez a estimativa utilizando dados globais.

Na discussão metodológica desta seção, foi utilizado com principal referencial teórico o trabalho de Zivot (2005). Referências adicionais utilizadas são indicadas no decorrer do texto.

As séries entram no modelo transformadas em logaritmo neperiano. Doravante a série de Consumo é chamada de LCONS, a série de Preço Real é chamada de LPRECO e a série de Renda Real é chamada de LRENDA.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das séries utilizadas.



Tabela 1: Estatísticas descritivas das séries

	LCONS	LPRECO	LRENDA
Média	21,997	0,037	11,659
Mediana	21,964	0,059	11,648
Máximo	22,383	0,182	11,831
Mínimo	21,716	-0,282	11,470
Desvio Padrão	0,154	0,113	0,094
Jarque-Bera	5,592	26,314	7,267
Probabilidade	0,061	0	0,026
Observações	138	138	138

Fonte: Elaboração própria, 2013 a partir dos resultados encontrados no *software* E-views, 2013

Jarque-Bera é um teste útil para verificar se a série apresenta distribuição normal, sendo esta a hipótese nula. Ele verifica se os momentos da série estimada são iguais ao da normal. Partindo dessa hipótese, a assimetria é zero e a curtose é três (BUENO, 2011). A estatística tem distribuição qui-quadrado com 2 graus de liberdade<sup>11</sup>. Assim, para um nível de significância de 1%, não rejeita a hipótese nula para Renda e Consumo, e rejeita-se para Preço. Ou seja, consideramos que Renda e Consumo apresentam distribuição normal, e Preço não.

O correlograma dos resíduos apresenta picos de autocorrelação nas defasagens 1, 2, 5, 6, e em defasagens maiores e alternadas. A estatística Q é significativa em todos os níveis, indicando correlação serial dos resíduos. O teste LM de Correlação Serial de Breusch-Godfrey com 2 lags, cuja estatística tem distribuição qui-quadrado com 3 graus de liberdade<sup>12</sup> indica que a hipótese nula de ausência de correlação serial é rejeitada. Portanto, o modelo precisa ser reespecificado. A inclusão de variáveis defasadas do consumo e da renda como variáveis explicativas melhora o ajuste do modelo. Inclui-se duas defasagens de consumo e renda para que a estatística de Durbin-Watson apresente o valor adequado (superior a 2).

Com essa nova especificação, o correlograma dos resíduos deixa de apresentar picos e os testes Q iniciais não são significativos. Então, faz-se novamente o teste LM de Correlação Serial de Breusch-Godfrey, com 2 lags. Não é rejeitada a hipótese nula de ausência de correlação serial.

<sup>11</sup> Os valores da tabela são: 5% (5,991); 1% (9,210)

<sup>12</sup> Valor na tabela é de 5,99 para 5% e 9,21 para 1%

Ao longo das últimas décadas, diversos estudos adotaram técnica de cointegração e modelos de correção de erros (VECM) na linha de investigação a respeito da relação entre consumo de energia e PIB. Por exemplo, Glasure e Lee (1997), estudaram a causalidade entre o consumo de energia e o PIB, na economia da Coreia do Sul e de Cingapura; Masih & Masih (1997) realizaram estudo semelhante para a Coreia e Taiwan, porém, acrescentaram ainda o preço como variável do modelo; no Brasil, Moreira (1996) focou sua atenção no diesel e utilizou modelos de projeção de longo prazo do consumo. Na abordagem nacional, adotou um modelo baseado no preço do combustível e no nível de atividade (PIB). A metodologia adotada foi análise de autorregressão vetorial com correção de erros (VCE), devido à possibilidade de testar a existência e avaliar os parâmetros das relações de longo prazo (BURNQUIST; BACCHI, 2002).

Cabe observar que as séries de dados citadas não passaram por remoção de sazonalidade. Quando se utiliza o modelo VECM para estimar equações, indica-se não remover a sazonalidade das séries. Isso se justifica por pelo menos três pontos: o ajuste leva a perda de informações contidas nos “picos” e nos “vales” das séries; dados dessazonalizados podem alterar os resultados encontrados nos testes de raiz unitária, bem como nos de cointegração; por fim, a teoria econômica não justifica a realização de tal procedimento.

Para decidir entre utilizar um Vetor Autorregressivo (VAR) ou um VECM, deve-se observar a existência ou não de integração das séries. Quando todas elas são integradas, os parâmetros e os desvios padrões resultantes de uma estimação por VAR são consistentes. No entanto, como nem sempre as séries apresentam distribuição normal, nos casos em que a cointegração é satisfeita, indica-se adotá-la. Segundo Hamilton (1994) *apud* Zivot (2005), é preferível apresentar os resultados decorrentes dos dois métodos.

De forma conceitual, diz-se que existe cointegração entre duas ou mais variáveis, quando elas possuem tendências comuns de longo prazo (SAMOHYL; DANTAS, 1998). Bueno (2011) apresenta a definição de Engle e Granger sobre cointegração, afirmando que os elementos do vetor  $Y_t$ ,  $n \times 1$ , são cointegrados de ordem  $(d,b)$  denotados por  $Y_t \sim CI(d,b)$ , se:

- i. Todos os elementos de  $Y_t$  são integrados de ordem  $d$ , ou seja, são  $I(d)$ ;
- ii. Existe um vetor não nulo,  $\beta$ , tal que  $u_t = Y_t' \beta \sim I(d-b)$ ,  $b > 0$ .

É importante que as variáveis de  $Y_t$  sejam da mesma ordem para serem integradas<sup>13</sup>. Entende-se que ordem de integração é a quantidade de vezes que a série deve ser diferenciada para que se torne estacionária (BUENO, 2011).

De maneira formal, afirma-se que as variáveis de  $Y_t$  possuem uma relação de equilíbrio de longo prazo quando o vetor de cointegração  $\beta$  define uma combinação linear entre os elementos de  $Y_t$ , ou seja,  $Y_t' \beta = 0$  (BUENO, 2011).

A teoria da cointegração centra-se em dois pontos. Verificar os resíduos ( $u_t$ ) para saber se uma variável é estacionária e, em caso afirmativo, definir o modelo VECM, onde é incorporado o erro de equilíbrio (BUENO, 2011). A cointegração é útil para evitar problemas com estimativas inconsistentes dos parâmetros. (BURNQUIST; BACCHI, 2002).

O primeiro procedimento é avaliar, individualmente, se as séries são estacionárias. Para tanto, parte-se do correlograma. Deve-se observar a função de autocorrelação, a função de autocorrelação parcial e a estatística Q. A fórmula a seguir estima a função de autocorrelação, para  $k$  defasagens.

$$\tau_t = \frac{\sum_{t=t+1}^T (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

Quando  $\tau_1$  é diferente de zero, diz-se que a série é correlacionada em primeira ordem; quando  $\tau_k$  diminui de maneira geométrica (ou próximo disso) à medida que  $k$  aumenta, isso indica que a série obedece a um processo autorregressivo (AR) de ordem reduzida; por fim, quando  $\tau_k$  reduz para zero após número pequeno de observações, isso indica que a série obedece a um processo de média móvel de ordem reduzida.

---

<sup>13</sup> Existem exceções. Em situações com mais de duas variáveis, existem casos que nem todas as variáveis são da mesma ordem, desde que as cointegradas sejam a de maior ordem.

Diante de uma regressão de  $Y_t$  em uma constante e em  $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-k}$ , tem-se que o coeficiente  $Y_{t-k}$  é a autocorrelação parcial. Em um processo autorregressivo de ordem  $p$  (AR( $p$ )), a autocorrelação parcial cessa na defasagem  $p$ . Já a autocorrelação parcial de um processo de média móvel, reduz lentamente até zero. Quando o resultado está entre as linhas intermitentes, isso quer dizer que a autocorrelação parcial não é significativamente diferente de zero a um nível de 5%.

Antes de realizar a análise de cointegração, e de decidir entre o VAR ou VEC, deve-se fazer o teste da raiz unitária, para verificar se as séries são estacionárias. Existem diversos testes de raiz unitária, por exemplo, Dickey-Fuller – DF (1979, 1981), Dickey-Fuller Aumentado - ADF, GLS (versão eficiente do ADF), Phillipis-Perron – PP, NG-Perron (versão eficiente do PP), Kwiatkowsky, Phillips, Schimidt e Shin - KPPSS (BUENO, 2011). Em estudos para diversos países, o teste ADF é usado como ensaio de cointegração em resíduos identificados com tendências (RAO; RAO, 2008). Cita-se como exemplo o estudo de Samohyl e Dantas (1998), que estimou a demanda por gasolina (antes dos carros com motores *flex-fuel*, portanto, uma demanda similar à demanda pelo diesel).

Quando se estuda um conjunto de séries e se faz testes de raiz unitária, é preciso observar, cuidadosamente, se a ordem de integração das séries é a mesma. Tanto as variáveis classificadas como estacionárias, quanto aquelas classificadas como integradas de primeira ordem, são incluídas no modelo sem transformação. Já aquelas integradas em 2ª ordem, são incluídas nas estimativas do modelo em diferenças (a primeira diferença de uma variável I(2) é integrada de 1ª ordem). Em economia, a maior parte das séries é integrada em primeira ordem (BUENO, 2011).

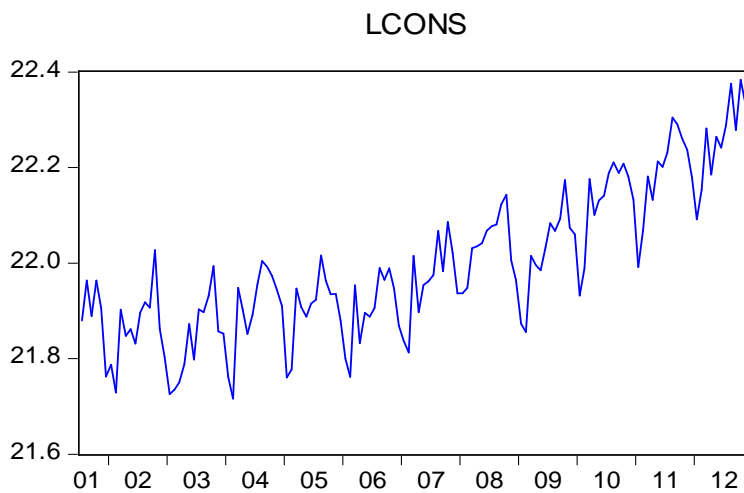
Antes dos testes de raiz unitária, é necessário fazer os gráficos das séries que estão sendo estudadas. Dessa forma, tenta-se inferir se é necessário ou não a inclusão de termo determinístico (tendência) no momento de rodar os testes. Duas situações são possíveis: rodar os testes apenas com constante e rodar os testes com constante e tendência.

O primeiro caso é muito utilizado para séries financeiras que não possui tendência temporal definida, como, por exemplo, taxas de câmbio e taxas de juros. A equação comumente

utilizada para explicar o comportamento dessas séries é  $Y_t = c + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$ , sendo a hipótese nula  $\phi = 1$ . O segundo caso, no qual se acrescenta constante e tendência para rodar os testes, é frequentemente utilizado para séries com tendência temporal bem definida, como, por exemplo, preços de ativos e séries macroeconômicas agregadas. A equação indicada para representar o comportamento da série é:  $Y_t = c + \delta t + \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$ , também com hipótese nula  $\phi = 1$

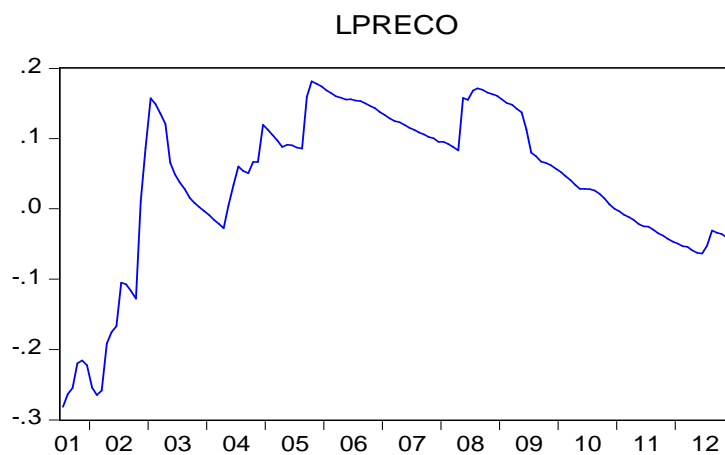
A seguir são apresentados os gráficos das séries estudadas nesse trabalho.

Gráfico 13: Série Consumo



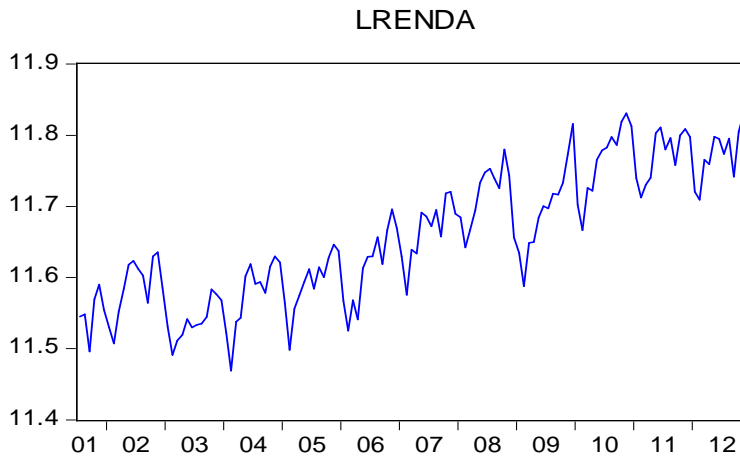
Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

Gráfico 14: Série Preço Real



Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

Gráfico 15: Série Renda Real



Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

A partir da observação dos gráficos, é possível perceber que as séries consumo e renda apresentam uma tendência temporal, e que isso não se aplica a série do Preço. A respeito desta última série, duas observações fazem-se relevantes: a primeira é que, a série apresenta quebra ou reversão de tendência; a segunda, talvez relacionada à primeira observação, é que os preços são definidos exogenamente pela Petrobras, devido ao mercado concentrado e ao domínio dessa empresa no mercado de refino e à suscetibilidade da gestão da Petrobras a interferências do governo federal (e.g. controle de preços para evitar a aceleração da inflação).

Antes da realização dos testes de raiz unitária, é preciso definir a quantidade máxima de defasagens utilizadas nos testes. Para o critério Schwartz ou Akaike, utiliza-se a metodologia indicada por Schwert (1989) *apud* Zivot (2005):

$$p_{\max} = \left\lceil 12 \cdot \left( \frac{T}{100} \right)^{\frac{1}{4}} \right\rceil \quad (8)$$

No presente estudo, tem-se que  $T = 138$ , logo,  $p_{\max} = 13$ . No caso dos testes eficientes, utilizou-se o Critério de Informação de Akaike Modificado (MAIC).

Os testes realizados para identificar a presença de raiz unitária foram: ADF, DF-GLS e Ng-Perron. A respeito deles cabem algumas observações. O teste ADF tem baixo poder de

distinguir as séries que são  $I(0)$  mas que estão próximas de serem  $I(1)$ . Quando termos determinísticos são incluídos, como é o caso desse trabalho, o poder do teste também reduz.

Ao comparar o ADF com o PP, verifica-se que este último possui a vantagem de ser robusto a formas gerais de heterocedasticidade no termo de erro  $u_t$ , o que não é válido para o ADF. Apesar disso, este trabalho opta por usar o ADF e não o PP porque, de acordo com Davidson e Mackinnon (2004) *apud* Zivot (2005), o ADF apresenta um desempenho melhor em amostra finitas, onde se enquadra o presente caso. Os diferentes desempenhos decorrem do fato de os testes utilizarem metodologias diferentes para corrigir a correlação serial nas equações de regressão dos testes.

Na tentativa de corrigir o baixo poder de distinção entre séries  $I(0)$  que são quase  $I(1)$  do ADF e do PP são propostos os testes de Elliot, Rothenberg e Stock (1996) e de Ng e Perron (2001). Esses testes utilizam dados cuja tendência foi removida por meio do método Mínimos Quadrados Generalizados (MQG). A versão eficiente do ADF é chamada de teste DF-GLS e o teste de Ng-Perron (ERS) é a versão eficiente do teste PP. Nesses dois testes, indica-se utilizar a versão modificada do critério de informação Akaike, em substituição à versão tradicional. O Ng-Perron (ERS) não tem as distorções observadas pelo PP para erros com elevadas raízes negativas média móvel ou autorregressiva. Também apresenta substancialmente maior poder que o PP quando  $\phi$  é próximo da unidade.

Além desses, foi realizado o KPSS, que tem como hipótese nula a estacionariedade da série. Ele testa o modelo a seguir:

$$Y_t = \beta' D_t + \mu_t + u_t \quad (9)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (10)$$

Rejeita-se a hipótese nula de estacionariedade da série a um nível de  $100 \cdot \alpha\%$  se a estatística é maior do que o quartil 100  $(1-\alpha)\%$  da distribuição assintótica apropriada.

Antes de realizar os testes, faz-se a análise dos correlogramas. A primeira série a ser avaliada é a do Consumo. Nela, encontra-se um pico na primeira defasagem em nível, e quando o teste é feito em diferença observa-se ausência de autocorrelação. A seguir são apresentados os

resultados encontrados nos testes ADF, DF-GLS e KPSS (o teste de Ng-Perron produz resultados semelhantes aos do DF-GLS). Os resultados encontrados com os critérios Schwarz e Akaike para o ADF e o DF-GLS são muito parecidos e não alteram a conclusão dos testes. Por isso, são apresentados os resultados para o critério de informação Schwarz. Da mesma forma, é utilizado Newey-West para o KPSS.

De acordo com todos os testes, a série de consumo é integrada em segunda diferença, ou I(2), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Testes de raiz unitária – série Consumo

**Hipótese nula: LCONS tem uma raiz unitária**

Exógenas: constante; tendência linear

		Estatística-t nível	Estatística-t 1ª diferença	Estatística-t 2ª diferença
	defasagem:	13	13	12
<b>Dickey-Fuller Aumentado</b>				
Valor crítico do teste	1%	-4,0337	-4,0344	-4,0344
	5%	-3,4465	-3,4468	-3,4468
	10%	-3,1482	-3,1484	-3,1484
<b>Elliott-Rothenberg-Stock DF-GLS</b>				
Valor crítico do teste	1%	-3,5512	-3,5524	-3,5536
	5%	-3,0060	-3,0070	-3,0080
	10%	-2,7160	-2,7170	-2,7180
<b>Hipótese nula: LCONS é estacionária</b>				
		Estatística LM	Estatística LM	Estatística LM
		nível	1ª diferença	2ª diferença
<b>Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin</b>				
Valor crítico do teste	1%	0,2160	0,2160	0,2160
	5%	0,1460	0,1460	0,1460
	10%	0,1190	0,1190	0,1190

Fonte: Elaboração própria, 2013 partir dos resultados encontrados no *software* E-views, 2013



A série de Preço apresenta uma divergência nos resultados. De acordo com KPSS, a série de preço é estacionária, mas o ADF e DF-GLS indicam ordem de integração I(1). Seguem os resultados:

Tabela 3: Testes de raiz unitária – série Preço

---

**Hipótese nula: LPRECO tem uma raiz unitária**

**Exógenas: constante; tendência linear**

	defasagem:	Estatística-t	Estatística-t
		nível	1ª diferença
		1	0
<b>Dickey-Fuller Aumentado</b>		<b>-2,7158</b>	<b>-8,0165</b>
Valor crítico do teste	1%	-3,4789	-3,4789
	5%	-2,8827	-2,8827
	10%	-2,5782	-2,5782
<b>Elliott-Rothenberg-Stock DF-GLS</b>		<b>-0,6563</b>	<b>-6,8187</b>
Valor crítico do teste	1%	-2,5821	-2,5821
	5%	-1,9432	-1,9432
	10%	-1,6152	-1,6152

**Hipótese nula: LCONS é estacionária**

	defasagem:	Estatística	Estatística
		LM	LM
		nível	1ª diferença
		9	3
<b>Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin</b>		<b>0,3560</b>	<b>0,4939</b>
Valor crítico do teste	1%	0,7390	0,7390
	5%	0,4630	0,4630
	10%	0,3470	0,3470

---

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

A série Renda é integrada em primeira diferença, ou I(1), de acordo com ADF e DF-GLS e, estacionária, segundo resultado do KPSS, de acordo com a Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Testes de raiz unitária – série Renda

<b>Hipótese nula: LRENDA tem uma raiz unitária</b>			
Exógenas: constante; tendência linear			
		Estatística-t nível	Estatística-t 1ª diferença
	defasagem:	12	11
<b>Dickey-Fuller Aumentado</b>		<b>-3,4337</b>	<b>-3,7316</b>
Valor crítico do teste	1%	-4,0337	-4,0337
	5%	-3,4465	-3,4465
	10%	-3,1482	-3,1482
<b>Elliott-Rothenberg-Stock DF-GLS</b>		<b>-2,5117</b>	<b>-3,0720</b>
Valor crítico do teste	1%	-3,5500	-3,5500
	5%	-3,0050	-3,0050
	10%	-2,7150	-2,7150
<b>Hipótese nula: LCONS é estacionária</b>			
		Estatística LM	Estatística LM
		nível	1ª diferença
	defasagem:	6	90
<b>Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin</b>		<b>0,1249</b>	<b>0,1066</b>
Valor crítico do teste	1%	0,2160	0,2160
	5%	0,1460	0,1460
	10%	0,1190	0,1190

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

Assim, como a série do consumo é  $I(2)$ , ela entra nos testes em 1ª diferença; as demais (renda e preço), entram em níveis.

A etapa seguinte é a realização do teste de cointegração. Engle-Granger e Johansen são os mais comumente utilizados. Neste estudo, será adotado o Johansen, devido à existência de mais de duas séries. Essa metodologia tem a vantagem de estimar vetores de cointegração e, simultaneamente, o VECM (BUENO, 2011).

Os testes de cointegração são testes para verificar a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis de  $Y_t$ . Os testes dizem respeito a duas situações: na primeira situação, existe, no máximo, uma relação de cointegração. Engle e Granger (1986) *apud* Zivot (2005) criaram um procedimento com base nos resíduos, e divididos em duas etapas, utilizando técnicas de regressão. Primeiro, o teste consiste em determinar se o vetor  $\beta$ , ( $n \times 1$ ), é um vetor cointegrante. Assim, forma-se o resíduo cointegrante  $\beta'Y_t = u_t$ . Em seguida, realiza-se o teste de raiz unitária em  $u_t$  para determinar se é  $I(0)$ . A hipótese nula de Engle-Granger é que não existe cointegração. O vetor cointegrante pode ser pré-especificado com base na teoria ou estimado a partir de dados estatísticos. O primeiro caso conduz a testes mais robustos. Cabe destacar que a possibilidade de o resíduo cointegrante incluir termos determinísticos (constante e tendência) deve ser observada nos testes de raiz unitária

Quando o vetor é estimado, Engle e Granger (1986) *apud* Zivot (2005) propõem estimar o vetor normalizado por meio do MQO a partir da regressão

$$Y_{1t} = \gamma'D_t + \beta'Y_{2t} + u_t \quad (11)$$

$D_t$  = termos determinísticos (constante e tendência)

Testa-se a hipótese nula de não-cointegração utilizando para isso um teste de raiz unitária com os resíduos cointegrados estimados

$$\hat{u}_t = Y_{1t} - \hat{\gamma}'D_t - \hat{\beta}_2'Y_{2t} \quad (12)$$

Neste caso, realiza-se o teste de raiz unitária sem termos determinísticos (constante ou tendência e constante).

Phillips e Ouliaris (PO) (1990) *apud* Zivot (2005) evidenciaram que os testes de raiz unitária ADF e PP aplicados aos resíduos cointegrantes não apresentam distribuições usuais de Dickey-Fuller na hipótese de não-cointegração. Os autores sugeriram distribuições alternativas que são funções de processos tipo Weiner.

Da mesma forma que as estatísticas ADF e PP, as distribuições assintóticas das estatísticas de Engle-Granger ( $z$ ) e Phillips-Ouliaris ( $\tau$ ) são não-padronizadas e estão vinculadas à

especificação de regressores determinísticos (logo, os valores críticos dependem dos resultados encontrados na simulação). De acordo com MacKinnon (1996) *apud* Zivot (2005), os valores críticos podem ser obtidos a partir de quatro formas diferentes para os regressores determinísticos na equação cointegrante. São elas: sem regressores, constante (nível), tendência linear e tendência quadrática (para valores de  $k = m_2 + 1$  entre 1 e 12;  $m_2 = \max(n - p_2, 0)$  é igual à diferença entre o número de regressores cointegrantes e o número de regressores determinísticos de tendência retirados da equação cointegrante).

Na segunda situação, é possível que exista um número de vetores de cointegração estabelecido em  $0 \leq r < n$ . Johansen (1988) *apud* Zivot (2005) criou um teste para especificar o número de relações de cointegração, apoiado em técnicas de máxima verossimilhança. Utiliza-se o teste quando se trabalha com mais de duas séries, devido à possibilidade de existir mais de um vetor de cointegração.

Parte-se de um modelo VAR(p) com um vetor  $Y_t$  que é  $(n \times 1)$ :

$$Y_t = \Phi D_t + \Pi_1 Y_{t-1} + \dots + \Pi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T, \quad (13)$$

Onde  $D_t$  possui os termos determinísticos (constante, tendência, *dummies* sazonais, entre outros). Ressalta-se que o modelo será estável se

$$\det(I_n - \Pi_1 z - \dots - \Pi_p z^p) = 0 \quad (14)$$

apresentar todas as suas raízes fora do círculo unitário complexo. Caso o determinante apresente uma raiz no círculo unitário, algumas, ou todas, as variáveis em  $Y_t$  são I(1) e podem ser cointegradas. Nessa situação, a representação VAR(K) acima é inadequada para análise, devido às relações de cointegração não estarem explícitas. Elas tornam-se aparentes quando o modelo VAR em níveis é convertido em um modelo de vetor de correção de erros (VECM). De tal maneira que:

$$\Delta Y_t = \Phi D_t + \Pi Y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

$$\text{Onde: } \Pi = \Pi_1 + \dots + \Pi_p - I_n \text{ e } \Gamma_k = - \sum_{i=k+1}^p \Pi_i, k = 1, \dots, p-1 \quad (15')$$

A matriz  $\Pi$  e a matriz  $\Gamma_k$  são denominadas de matrizes de impacto de longo prazo e de curto prazo, respectivamente.

O posto da matriz  $n \times n$   $\Pi = \alpha\beta'$  é o número de equações de cointegração. Os coeficientes em  $\beta$  simbolizam os estimadores da relação de equilíbrio de longo prazo; os coeficientes em  $\alpha$  registram a velocidade de ajustamento do modelo à relação de equilíbrio. Assim, o termo de erro afere os desvios temporários (de curto prazo) entre as variáveis que formam o(s) vetor(es) de cointegração. Logo, cada linha da matriz  $\Pi$  representa um vetor de cointegração de  $Y$ .

O termo de correção de erro é diferente de zero se, e somente se, as variáveis forem cointegradas. Isso garante uma relação de equilíbrio de longo prazo. Johansen (1988) *apud* Zivot (2005) indica, para verificar o número de equações de cointegração no modelo, um teste similar ao ADF. Para realização dessa etapa, deve-se partir de um VAR.

#### 4.2 VETOR AUTORREGRESSIVO E A CURVA DE DEMANDA ESTIMADA DO DIESEL

A metodologia de VAR é uma proposta alternativa aos modelos estruturais multiequacionais. O VAR consiste em um sistema de equações, onde cada variável que integra o sistema é função dos valores das demais variáveis no presente e defasadas no tempo, como também, dos seus valores defasados no tempo, mais o termo de erro. Um VAR apresenta duas dimensões: número de variáveis endógenas =  $p$  e número de defasagens =  $K$ . As equações do modelo VAR podem ser compostas de tendências determinísticas e variáveis exógenas. Pode-se representar o modelo autorregressivo de ordem  $K$  por um vetor com  $n$  variáveis endógenas,  $Z_t$ :

$$AZ_t = B_0 + \sum_{i=1}^K B_i Z_{t-i} + B_{\epsilon_t} \quad (16)$$

Onde:

$A$  = matriz  $n \times n$  que define as restrições contemporâneas entre as variáveis que constituem o vetor  $n \times 1$ ,  $X_t$ , além de estabelecer as interconexões entre as variáveis.

$B_0$  = vetor de constantes  $n \times 1$ ;

$B_i$  = matrizes de coeficientes  $n \times n$ ;

$B$  = matriz diagonal  $n \times n$  de desvios-padrão;

$\varepsilon_t$  = vetor  $n \times 1$  de perturbações aleatórias não correlacionadas entre si contemporânea ou temporalmente, ou seja,  $\varepsilon_t \sim iid(0, I_n)$

No entanto, como as variáveis são endógenas, usualmente, estima-se o modelo na sua forma reduzida:

$$\begin{aligned} Z_t &= A^{-1}B_0 + \sum_{i=1}^p A^{-1}B_i Z_{t-i} + A^{-1}B\varepsilon_t \\ &= \Phi_0 + \sum_{i=1}^p \Phi_i Z_{t-i} + \beta_t \end{aligned} \quad (17)$$

Supondo que as variáveis  $Z_t$  seguem um processo estocástico I(1), pode-se estimar o VAR por primeira diferença:

$$\Delta Z_t = \Phi_0 + \Phi_i \sum_{i=1}^p \Delta Z_{t-i} + \beta_t \quad (18)$$

Essa especificação é capaz de captar, somente, a relação de curto prazo entre as séries. Conforme Lütkepohl e Krätzig (2004), é a presença do termo de correção de erros que diferencia esta especificação do vetor de correção de erro (VEC), que deve ser incluído se, e somente se, existir relação de equilíbrio de longo prazo entre as séries. O termo de correção de erros pode ser representado como um vetor das variáveis em nível defasadas em um período. O mesmo fornece informações a respeito dos desvios das séries em relação ao equilíbrio de longo prazo e. Além disso, caso algumas ou todas variáveis na análise de VAR sejam I(1), os testes estatísticos usuais não são válidos.

Em situações em que todas as variáveis são I(1) e não são cointegradas, afirma-se que a regressão é espúria, ou seja, não existe combinação linear das variáveis que seja I(0). Nesses

casos, as estatísticas  $t$  obtidas via MQO para verificar se os coeficientes são zero divergem para + ou - infinito ao passo que o número de observações tende a infinito. Assim, quando a amostra é grande o suficiente, os resultados apontam que as variáveis são cointegradas, quando elas de fato não são. O  $R^2$  converge para 1 assintoticamente, o que significa que a regressão é apropriada, mas de fato, não é. Supõe-se que  $Y_t = (y_{1t}, \dots, y_{nt})'$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de séries integradas de primeira ordem.  $Y_t$  é cointegrada se existe um vetor  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)'$  tal que:

$$\beta'Y_t = \beta_1 y_{1t} + \dots + \beta_n y_{nt} \sim I(0) \quad (19)$$

Logo, pode-se afirmar que as séries temporais não estacionárias em  $Y_t$  são cointegradas caso exista uma combinação linear dessas séries que é  $I(0)$ . Usualmente, a combinação linear  $\beta'Y_t$  é baseada na teoria econômica e significa uma relação de longo prazo entre as variáveis. Séries temporais  $I(1)$  que apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo mantêm-se com comportamento similar ao longo do tempo, porque as forças econômicas atuam de modo a restaurar a relação de equilíbrio. Não necessariamente a relação de cointegração é única. Se  $Y_t$  é um vetor ( $n \times 1$ ) e é cointegrado, é possível existir  $0 < r < n$  vetores de cointegração linearmente independentes.

O primeiro passo para determinação do VAR é estabelecer o número de defasagens. Roda-se primeiro o VAR com  $K = 2$ , com a constante e as *dummies* sazonais. Faz-se o teste do número de defasagens utilizando  $p_{max} = 12$  (porque as séries são mensais). Dois dos critérios indicam  $K = 2$  (SC e HQ) e dois testes indicam  $K = 4$  (FPE e AIC) e apenas o critério LR indica  $K=5$  (Apêndice A). Encontra-se resultado semelhante ao incluir a tendência como variável exógena.

Num modelo VAR, a definição da ordem de defasagens é arbitrária. Quando se escolhe o maior número possível de defasagens, evita-se a imposição de restrições falsas a respeito da dinâmica do modelo. Todavia, um número maior da ordem de defasagens significa uma quantidade maior de parâmetros a serem estimados, o que implica em menos graus de liberdade para a estimação (BERNARDELLI; ARAÚJO, 2012).

É preciso verificar se a ordem escolhida elimina a autocorrelação dos resíduos. Para isso, faz-se o teste de Portmanteau (APÊNDICE B), que tem como hipótese nula a ausência de autocorrelação dos resíduos. O teste indica a presença de autocorrelação para  $K=2$ . Por isso, opta-se, então, por trabalhar com  $K = 4$  e realizar o teste novamente.

O resultado com  $K = 4$  (APÊNDICE C) indica ausência de correlação. Como o teste de Portmanteau não é um bom teste na presença de uma quase raiz unitária, pois ele requer que os coeficientes de média móvel de ordens elevadas sejam zero, realiza-se, adicionalmente, o teste LM para autocorrelação, cuja hipótese nula é de ausência de autocorrelação até a defasagem  $h$ . Os resultados são apresentados na Tabela 5. Este teste tem distribuição qui-quadrado com graus de liberdade definidos por  $p^2$  ( $p =$  número de variáveis endógenas).

Tabela 5: Teste LM para VAR com  $K=4$

Observações Incluídas: 133

Defasagens	Estatística LM	Probabilidade
1	8,8979	0,4468
2	3,2583	0,9532
3	10,3248	0,3248
4	8,1348	0,5206
5	6,4129	0,6980
6	11,7965	0,2250
7	15,4999	0,0781
8	12,0072	0,2129
9	5,3303	0,8046
10	18,3338	0,0315
11	5,2989	0,8075
12	6,7181	0,6664

Probabilidade de qui-quadrado com 9 df.

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

Excluiu-se completamente a possibilidade de autocorrelação (este teste exclui a possibilidade de autocorrelação, seja para  $K = 2$  ou para  $K = 4$ ).



Finalmente, é preciso testar a existência de relação de cointegração. Johansen *apud* Zivot (2005) propõe classificar o comportamento de tendência de  $Y_t$  em cinco tipos de modelos, com as possibilidades variando de acordo com a existência de constante e tendência. No primeiro modelo, supõe-se inexistência de constante e tendência, na equação de cointegração e no VAR. Este modelo só deve ser aplicado quando se sabe que todas as séries apresentam média zero, por isso, não é relevante para trabalhos empíricos. No modelo 2, supõe-se a existência da constante na equação de cointegração. É utilizado para dados que não apresentam tendência, como, por exemplo, taxa de juros e taxa de câmbio. No modelo 3, o suposto é a presença de constante na equação de cointegração e no VAR, e a tendência presente no VAR. Esse modelo é adequado para casos de séries I (1) que apresentam tendência, como, por exemplo, preços de ações e agregados macroeconômicos. É utilizado para dados que apresentam tendências estocásticas. No modelo 4, a constante existe apenas na equação de cointegração e a tendência aparece tanto na equação de cointegração como no VAR. Da mesma forma que o modelo 3, é utilizados para dados I (1) que exibem tendência, no entanto, destaca-se a tendência determinística no resíduo cointegrante. Usa-se esse modelo quando algumas das séries apresentam tendência estacionária. Por fim, no modelo 5, supõe-se a constante na equação de cointegração e no VAR e a tendência na equação de cointegração. Esse modelo é adequado para séries I (1) que apresentam tendência quadrática, como, por exemplo, preços nominais em períodos de inflação elevada.

Após a definição do modelo, verifica-se a existência, ou não, de vetores de cointegração. Como referência utiliza-se dois testes: o teste do traço e o teste do máximo autovalor. O primeiro tem como hipótese nula a existência de, no máximo,  $r^*$  vetores de cointegração, e a hipótese alternativa é que  $r > r^*$  vetores; o segundo verifica a existência de  $r$  vetores de cointegração, e tem como hipótese a alternativa de existência de  $r+1$  vetores.

Todos os modelos indicam uma relação de cointegração quando avaliando o máximo-autovalor, embora os modelos 4 e 5 apontem para um número maior de relações de cointegração pelo critério do traço. Para escolher o modelo mais adequado, outras observações são necessárias. Enquanto renda e consumo demonstram ser séries com tendência estocástica (choques possuem efeitos permanentes sobre a tendência), o comportamento do preço é fora do padrão, aparentemente seguindo uma tendência quadrática. Assim, utiliza-se o modelo 4 porque ele apresenta a constante dentro e fora do vetor de cointegração e tendência

dentro do vetor de cointegração. Como o objetivo é estimar uma equação de demanda, trabalha-se com uma única relação de cointegração. Seguem os resultados:

Séries cointegradas têm uma representação de correção de erro. Granger (1983) e Engle e Granger (1987) *apud* Zivot (2005) demonstraram que, quando as séries são cointegradas, elimina-se a possibilidade da regressão estimada ser espúria.

Quando as séries são cointegradas, determina-se a direção da causalidade entre as variáveis, a partir da definição de Granger. Segundo Lütkepohl e Krätzig (2004), quando existe apenas uma relação de cointegração a ordenação das variáveis torna-se mais relevante. No VECM, a normalização dos vetores característicos (*eigenvectors*) torna única a estimativa de  $\beta$  e o  $\alpha$  é ajustado a partir desse processo. Todavia, como as restrições não são restrições de identificação econométricas, apenas o espaço de cointegração é estimado consistentemente. É necessário estabelecer restrições de identificação para que seja possível estimar as matrizes  $\alpha$  e  $\beta$  consistentemente. Caso contrário, apenas o produto  $\alpha\beta' = \Pi$  pode ser estimado consistentemente. Na literatura, tem se destacado o seguinte exemplo de restrições de identificação: a primeira parte de  $\beta$  é uma matriz identidade, ou seja,

$$\beta' = [I_r + \beta'_{(K-r)}] \quad (20)$$

Onde:  $\beta'_{(K-r)}$  é uma matriz  $(K-r) \times r$

Para  $r = 1$ , tem-se que o coeficiente da primeira variável é normalizado em 1. Isso implica em necessidade de cuidado na determinação da ordem das variáveis, pois pode existir uma relação de cointegração em apenas um conjunto de variáveis do sistema. Assim, normalizar um coeficiente arbitrário pode provocar a divisão de uma estimativa equivalente a um parâmetro que, de fato, é zero, caso a variável associada a esse parâmetro não faça parte da relação de cointegração.

Quando a ordem das variáveis é inadequada, pode provocar distorções significativas. O ideal é que a ordem seja estabelecida de maneira que a relação de cointegração resultante das restrições de normalização tenha uma interpretação econômica. Ao definir a ordem das

variáveis, é importante observar a cointegração entre conjuntos de variáveis antes de se estabelecer o sistema completo.

Para evitar uma ordenação arbitrária das variáveis, utiliza-se o teste de causalidade de Granger (*Block Exogeneity Wald Tests*). Ele permite a definição de um ordenamento estatisticamente consistente, a partir da estatística qui-quadrado, e apresenta a ordem de todas as variáveis no modelo ao mesmo tempo, da mais exógena (que possui o maior valor da estatística) para a mais endógena (que possui o menor valor da estatística). De acordo com Camuri (2005), quando as inferências resultantes da decomposição da variância e das funções impulso-resposta mostram-se muito sensíveis à ordenação das variáveis no VAR, o Teste de Wald é útil para estabelecer um ordenamento estatisticamente consistente, como pode ser observado no Apêndice D.

O teste indica que, conjuntamente, as variáveis são significantes. O valor-p indica o grau de endogeneidade da variável. A hipótese nula do teste é de exogeneidade. Assim, ordenando as variáveis, da mais exógena para mais endógena, tem-se Preço (0,3765), Renda (0,2677) e Consumo (0,0001), resultado coerente, visto que o Preço é uma variável controlada, como explicado anteriormente. Como a ordem do VAR foi definida como 4 e a ordem do VEC é igual a K-1, tem-se que a ordem do VEC é 3.

Denomina-se de Vetor de Correção de Erro (VEC) o VAR com a especificação adequada, restrito ou reparametrizado. O VEC é aplicado se as séries forem estacionárias por meio da diferenciação. O modelo VEC pode ser representado pela expressão:

$$\Delta Y_t = \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \Gamma_2 \Delta Y_{t-2} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta Y_{t-(p-1)} + \Pi Y_{t-1} + \mu + \varepsilon_t \quad (21)$$

onde  $Y_t$  é um vetor com  $p$  variáveis;  $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma)$ ; e  $E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) \equiv 0$ , com  $t \neq s$ .

Após estimar o VECM sem restrições, avalia-se o posto da matriz  $\Pi = \alpha\beta'$ . Os estimadores da relação de equilíbrio de longo prazo são representados pelos coeficientes de  $\beta$ , e a velocidade de ajustamento do modelo à relação de equilíbrio é representada pelos coeficientes de  $\alpha$ . Destaca-se a usualmente, normalização encontrada quando existe uma relação de cointegração é:

$$\beta = (1, -\beta_2, \dots, -\beta_n)' \quad (22)$$

onde  $n$  é o número de variáveis. Assim, define-se a relação de cointegração como:

$$\beta' Y_t = y_{1t} - \beta_2 y_{2t} - \dots - \beta_n y_{nt} \sim I(0) \quad (23)$$

$$y_{1t} = \beta_2 y_{2t} + \dots + \beta_n y_{nt} + u_t \quad (24)$$

No longo prazo,  $\beta' Y_t$  é zero e o termo de erro  $u_t$  é normalmente denominado de erro de desequilíbrio ou resíduo cointegrante. Assim, define-se a relação de equilíbrio de longo prazo por:

$$y_{1t} = \beta_2 y_{2t} + \dots + \beta_n y_{nt} \quad (25)$$

Neste momento, é possível estimar o VEC. Primeiramente, o vetor de cointegração estimado apresentou que apenas o consumo possui beta significativo (1% de significância estatística). Os resultados encontrados são apresentados no Apêndice E.

$$\text{BETA} = \text{vetor de cointegração} = \text{LPREAL} + 272,794\text{D(LCONS)} + 1,009 \text{ LRENDA} - 0,013 t - 11,638 \quad (26)$$

No longo prazo, deseja-se que a relação permaneça estável. Logo, em equilíbrio,  $\beta = 0$ , isto é:

$$\text{LPREAL} = 11,638 - 272,794\text{D(LCONS)} - 1,009 \text{ LRENDA} + 0,013 t \quad (27)$$

Essa equação representa a curva de demanda por diesel de longo prazo. Mostra como o nível de preço responde ao nível de renda e a variações no consumo, no longo prazo. Nota-se que, a relação preço/consumo apresenta o sinal correto, mas a relação preço/renda está com o sinal contrário ao esperado.

Quando se estuda séries temporais estocásticas discretas, ruído branco (*whitenoise*) é fundamental. Uma sequência  $\{\varepsilon_t\}$  é um ruído branco se seus valores tiverem média zero,

variância constante e não existir correlação com qualquer realização da própria série (BUENO, 2011).

Bueno (2011) afirma que dada uma sequência  $\{\varepsilon_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$  de variáveis aleatórias, existe um processo de ruído branco se:

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t) &= 0, \forall t ; \\ E(\varepsilon_t^2) &= \sigma^2, \forall t ; \\ E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-j}) &= 0, \text{ todo } j \neq 0 \end{aligned}$$

Do resultado apresentado conclui-se que apesar dos resíduos não apresentarem autocorrelação, os testes rejeitam a hipótese nula de normalidade para o Resíduo 1 e Resíduo 2. Conforme resultados apresentados nos Apêndices F e G, verifica-se que tanto o teste de Portmanteau, quanto o teste LM apontam, de uma forma geral, a ausência de autocorrelação.

Quanto à normalidade, todos os testes rejeitam a hipótese nula de normalidade conjunta dos resíduos. Na tentativa de resolver o problema da normalidade e o sinal inverso de LRENDA, utiliza-se um filtro Hodrick-Prescott (HP)<sup>14</sup> para identificar uma tendência na série LPREAL (observa-se a série sem sazonalidade). Constata-se que a reversão de tendência ocorre no mês 12 de 2006, com isso, acrescenta-se uma *dummy* a partir desse ponto. Não obstante, isso não altera substancialmente os resultados (Apêndice H). Todos os testes continuam rejeitando a hipótese nula de normalidade conjunta dos resíduos e o sinal da variável renda manteve-se contrário ao indicado pela teoria econômica.

Alternativamente, utilizou-se o procedimento de teste de raiz unitária com quebra estrutural para identificar o ponto de quebra da série Preço. Utilizando o teste sugerido por Lanne, Lütkepohl e Saikkonen (2001) *apud* Lütkepohl e Krätzig (2004), identificou-se quebra estrutural para LPREAL (mês 11 de 2002). A inclusão da *dummy* de quebra para o preço alterou de forma significativa os resultados, como pode ser observado no Apêndice I. Agora os betas apresentam os sinais esperados, embora o beta da variável renda tenha se mantido estatisticamente irrelevante. Assim, com esta estimação, tem-se que:

---

<sup>14</sup>A utilização do filtro fornece uma da tendência em longo prazo da série. Leva esse nome porque foi utilizado pela primeira vez por Hodrick e Prescott (1980) em uma análise de ciclos econômicos do pós-guerra nos Estados Unidos.

$$\text{BETA} = \text{vetor de cointegração} = \text{LREAL} + 107,084 \text{ D(LCONS)} - 1,517 \text{ LRENDA} + 0,0004 \text{ t} + 17,326 \quad (28)$$

Novamente, no longo prazo, deseja-se que a relação permaneça estável. Logo, em equilíbrio,  $\beta = 0$ , isto é:

$$\text{LREAL} = -17,326 - 107,084 \text{ D(LCONS)} + 1,517 \text{ LRENDA} - 0,0004 \text{ t} \quad (29)$$

Essa equação representa a curva de demanda por diesel, no longo prazo, no transporte brasileiro. Mostra como o nível de preço responde ao nível de renda e a variações no consumo no longo prazo. Observa-se que, agora, tem-se que a relação preço/consumo e a relação preço/renda apresentam os sinais corretos.

Quanto à análise de curto prazo, novamente observa-se que somente os coeficientes de LPRECO e D(LCONS) são significativos (a um nível de 10% e 1% respectivamente). O coeficiente de ajustamento de LRENDA mais uma vez não é estatisticamente significativo (além disso, o sinal indica que esta variável não contribui para levar ao equilíbrio de longo prazo).

No curto prazo, o coeficiente de ajustamento de D(LCONS) foi de -0,028, evidenciando que os desequilíbrios transitórios para essa variável são corrigidos a uma velocidade de 2,8% por período, o que representa uma baixa velocidade de ajustamento. Provavelmente isso ocorre devido à ausência de um bem substituto para o curto prazo.

A análise dos resíduos, individualmente, indica que eles são *white-noise*, mas somente o resíduo da terceira equação têm distribuição normal de acordo com a estatística Jarque-Bera. Os testes confirmam a inexistência de autocorrelação dos resíduos, embora indique uma distribuição não-normal.

É possível, agora, fazer a análise de restrições, para verificar se as variáveis cointegram separadamente, ou se as três precisam ser mantidas no sistema. É possível testar a possibilidade de  $B(1, 1)$ ;  $B(1, 2) = 0$  e de  $B(1, 3) = 0$ .  $B(1, 1)$  testa se, ao excluir LPRECO, LRENDA e D(LCONS) cointegram;  $B(1, 2) = 0$  testa se, ao excluir LRENDA, LPRECO e

D(LCONS) cointegram; e ,  $B(1, 3) = 0$  testa se, ao excluir D(LCONS), LPRECO e LRENDA cointegram.

No teste da restrição  $B(1, 1)$  não é possível rejeitar a hipótese nula de que D(LCONS) e LRENDA cointegram separadamente. A análise da restrição  $B(1, 2) = 0$  indica que, se retirar LRENDA, LPREAL e DCONS cointegram. Já quando se testa se LPREAL e LRENDA cointegram separadamente, ou seja, se  $B(1, 3) = 0$ , rejeita-se a hipótese nula de que LPREAL e LRENDA cointegram separadamente. Os resultados encontrados são apresentados no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1: Análise de cointegração com restrições ao VEC

Restrição (H0)	Resultado do Teste LR para as restrições	Conclusão
$B(1, 1) = 0$	Qui-quadrado (1) 0,437 Probabilidade 0,509	LRENDA e D(LCONS) cointegram separadamente
$B(1, 2) = 0$	Qui-quadrado(1) 0,077 Probabilidade 0,781	LPREAL e D(LCONS) cointegram separadamente
$B(1, 3) = 0$	Qui-quadrado(1) 35,668 Probabilidade 0,000	LPREAL e LRENDA não cointegram separadamente

Fonte: Elaboração própria, 2013 a partir dos resultados encontrados no *software* E-views, 2013

O próximo ponto é fazer uma análise de robustez sobre a estacionariedade. Para isso, são colocadas restrições no vetor de cointegração, de forma que seja igual a um para a variável a ser testada e zero para as demais. A hipótese nula é de estacionariedade, ou seja, se ela é rejeitada, significa existência de raiz unitária. Apenas a variável D(LCONS) mostrou-se estacionária, conforme pode ser observado nos resultados apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Análise de estacionariedade com restrições ao VEC

Restrição (H0)	Resultado do Teste LR para as restrições
$B(1, 1) = 1; B(1, 2) = 0; B(1, 3) = 0$	Qui-quadrado (2) 53,317 Probabilidade 0,000
$B(1, 1) = 0; B(1, 2) = 1; B(1, 3) = 0$	Qui-quadrado (2) 42,770 Probabilidade 0,000
$B(1, 1) = 0; B(1, 2) = 0; B(1, 3) = 1$	Qui-quadrado (2) 0,450 Probabilidade 0,799

Fonte: Elaboração própria, 2013 a partir dos resultados encontrados no *software* E-views, 2013

Por fim, é possível testar a exogeneidade das séries, testando-se os coeficientes de ajustamento. A hipótese nula é de que a variável testada é fracamente exógena. No Quadro 3, a seguir, os resultados podem ser observados.

Quadro 3: Análise de exogeneidade com restrições ao VEC

Restrição (H0)	Resultado do Teste LR para as restrições
A(1, 1) = 0	Qui-quadrado (1) 2,9920 Probabilidade 0,0837
A(2, 1) = 0	Qui-quadrado (1) 0,0109 Probabilidade 0,9169
A(3, 1) = 0	Qui-quadrado (1) 35,7257 Probabilidade 0,0000

Fonte: Elaboração própria, 2013, a partir dos resultados encontrados no *software* E-views, 2013

A(1, 1) testa se a série LPREAL é fracamente exógena, A(2,1) testa se a série LREND A é fracamente exógena e, A(3,1) testa se a série D(LCONS) é fracamente exógena, sempre com base nos coeficientes de ajustamento. Por meio dos resultados apresentados, conclui-se que não é possível rejeitar que a séries LPREAL e LREND A são fracamente exógenas, no entanto, rejeita-se que D(LCONS) é fracamente exógena (ou seja, essa série é endógena). Com esse resultado, é preciso fazer o teste de causalidade de Granger, verificando se LPREAL e LREND A são fortemente exógenas.



Tabela 6: Causalidade de Granger

VEC Causalidade Granger/Teste Wald de Exogeneidade

Observações incluídas: 133

Variável dependente: D(LPRECO)			
Excluída	Chi-sq	Df	Prob.
D(LREND A)	0.344567	3	0.9514
D(LCONS- LCONS(-1))	4.421412	3	0.2194
Todas	4.966093	6	0.5482

Variável dependente: D(LREND A)

Excluída	Chi-sq	Df	Prob.
D(LPRECO)	3.976803	3	0.2640
D(LCONS- LCONS(-1))	0.763361	3	0.8582
Todas	5.901862	6	0.4343

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

Observa-se que a variável LPREAL é fortemente exógena no sentido de Granger. Nem D(DLCONS), nem D(LREND A) causam DLPREAL (observa-se probabilidade elevadas; logo, não é possível rejeitar a nula de coeficientes zero). Esse é um resultado esperado, tendo em vista que o preço do diesel é determinado pela Petrobras e fortemente influenciado por políticas de governo. A variável LREND A também se mostrou fortemente exógena no sentido Granger.

#### 4.2.1 Estimativa da Demanda Futura do Diesel e do Biodiesel

A partir da curva de demanda estimada do diesel, busca-se estimar quanto será consumido de diesel e biodiesel nos próximos cinco anos. A tendência presente na equação, anteriormente apresentada, pode ser desconsiderada devido ao seu coeficiente muito pequeno. Ademais,

como o trabalho tem entre seus objetivos estimar o consumo futuro do diesel, a equação é utilizada na seguinte ordem:

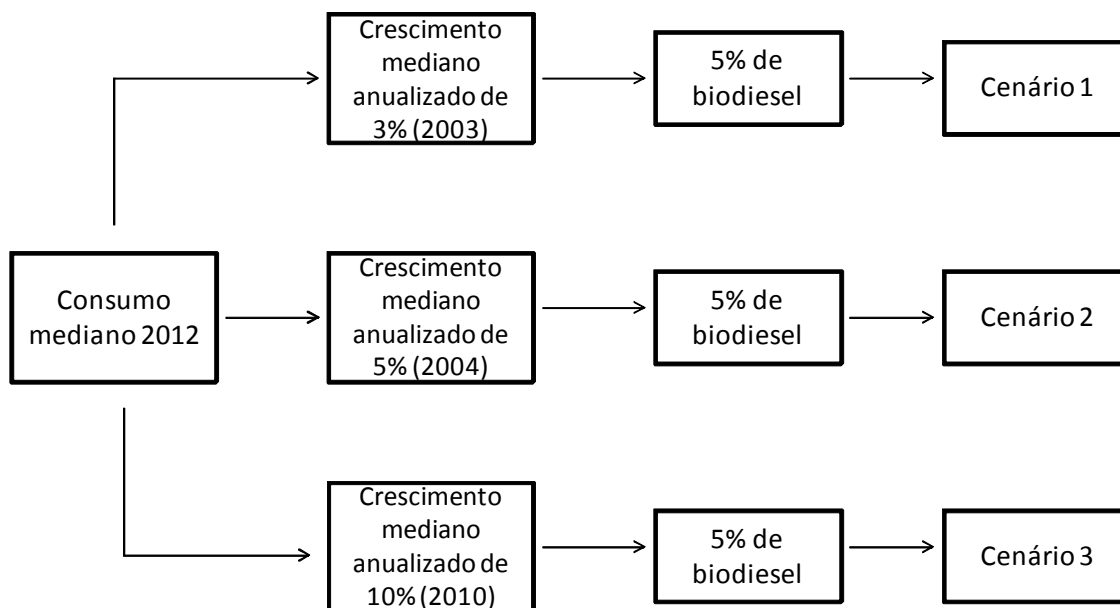
$$D(LCONS) = - 0,162 + 0,014*LREND A - 0,009 *LPREAL \quad (30)$$

A partir do consumo futuro estimado são estimadas as emissões evitadas futuras de CO<sub>2</sub>. Por meio dos dados de PIB real utilizados no modelo são construídos três diferentes cenários. Adota-se três anos diferentes para fazer as estimativas de consumo futuro. Os anos escolhidos como referência foram 2003, 2004 e 2010, com taxas medianas anualizadas de crescimento de 3%, 5% e 10%, respectivamente. Os demais anos, descartados, apresentaram taxas muito próximas dessas ou muito atípicas, devido a momentos de instabilidade.

São replicadas as taxas mensais de variação do PIB de cada um dos anos escolhidos. Esses dados são inseridos na equação da demanda encontrada na seção anterior, para assim encontrar três diferentes consumo futuro estimado do diesel.

Por fim, a partir das diferentes estimativas de consumo futuro de diesel, estima-se o consumo futuro do biodiesel, com base no percentual que, atualmente, é misturado ao diesel, ou seja, 5%. Assim chega-se a três cenários diferentes, a partir dos quais se estima as emissões evitadas futuras nos próximos cinco anos. A Figura 8, a seguir, apresenta um esquema da construção dos cenários.

Figura 8: Cenários para o consumo estimado futuro de biodiesel



Fonte: Elaboração da autora, 2013

#### 4.3 CÁLCULO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO<sub>2</sub> (2005-2012)

De acordo com os dados fornecidos pela ANP (2011), em dezembro de 2010, 75,22% do biodiesel produzido no Brasil usa como matéria-prima óleo vegetal da soja. Em fevereiro de 2012 (ANP, 2012b), o percentual registrado foi de 74,54%, o que comprova que a cadeia produtiva do biodiesel pouco se modificou. Nesta mesma data, o biodiesel produzido a partir do óleo de dendê representa apenas 0,25% da produção nacional. Além disso, cada vez mais estudos comprovam que a viabilidade do biodiesel depende de uma produção em larga escala de sua matéria-prima. Partindo desses dados, o trabalho usa o biodiesel de soja como referência, adotando a simplificação de que todo biodiesel consumido é produzido a partir da soja.

De acordo com trabalho realizado pela EPE (2007), o diesel puro emite 2,93 kg CO<sub>2</sub>eq/l de combustível e o biodiesel feito a partir da soja, na rota metílica<sup>15</sup>, emite 0,50 kg CO<sub>2</sub>eq/l. A partir desses dados, é possível calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pelo diesel e pelo biodiesel (consumidos no setor de transporte) desde que o biodiesel começou a ser utilizado (2005) e quanto de emissões de CO<sub>2</sub> foram evitadas pelo uso deste último em substituição ao diesel.

<sup>15</sup> A rota etílica ainda não se tornou economicamente viável.

Ao multiplicar o coeficiente de emissão de CO<sub>2</sub> do diesel pelo consumo desse combustível, obtém-se quanto de kg CO<sub>2</sub>eq foi emitido pelo mesmo:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ diesel}_t} = 2,93 \text{ kg CO}_2\text{eq} \times C_{\text{diesel}_t} \quad (31)$$

Onde:

$E_{\text{CO}_2 \text{ diesel}_t}$  = emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do diesel utilizado no setor de transporte, no ano t;

$C_{\text{diesel}_t}$  = consumo de diesel no setor de transporte no ano t.

Para chegar à emissão proveniente do biodiesel, faz-se o mesmo procedimento com o respectivo coeficiente. Logo:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ biodiesel}_t} = 0,5 \text{ kg CO}_2\text{eq} \times C_{\text{biodiesel}_t} \quad (32)$$

Onde:

$E_{\text{CO}_2 \text{ biodiesel}_t}$  = emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do biodiesel utilizado no setor de transporte, no ano t;

$C_{\text{biodiesel}_t}$  = consumo de biodiesel no setor de transporte no ano t.

Somando-se os dois, temos a emissão proveniente de veículos que funcionam com motor a diesel.

$$E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}_t} = E_{\text{CO}_2 \text{ diesel}_t} + E_{\text{CO}_2 \text{ biodiesel}_t} \quad (33)$$

Onde:

$E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}_t}$  = emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do diesel e do biodiesel utilizados no setor de transporte, no ano t;

Se não fosse utilizado biodiesel nesses veículos, a quantidade consumida do mesmo seria convertida em diesel. Assim, podemos estimar também a emissão que teríamos caso não fosse utilizado o biodiesel:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}100\%_t} = 2,93 \text{ kg CO}_2\text{eq} \times (C_{\text{diesel}_t} + C_{\text{biodiesel}_t}) \quad (34)$$

Onde:

$E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}100\%_t}$  = emissões de CO<sub>2</sub> proveniente dos motores a diesel, no setor de transporte, no ano t, caso o único combustível utilizado fosse o diesel;

É possível, assim, calcular as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>:

$$Ee_t = E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}100\%_t} - E_{\text{CO}_2 \text{ motoresdiesel}_t} \quad (35)$$

Onde:

$Ee_t$  = emissões evitadas em virtude do uso do biodiesel, no ano t;

#### 4.4 MONETIZAÇÃO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO<sub>2</sub>

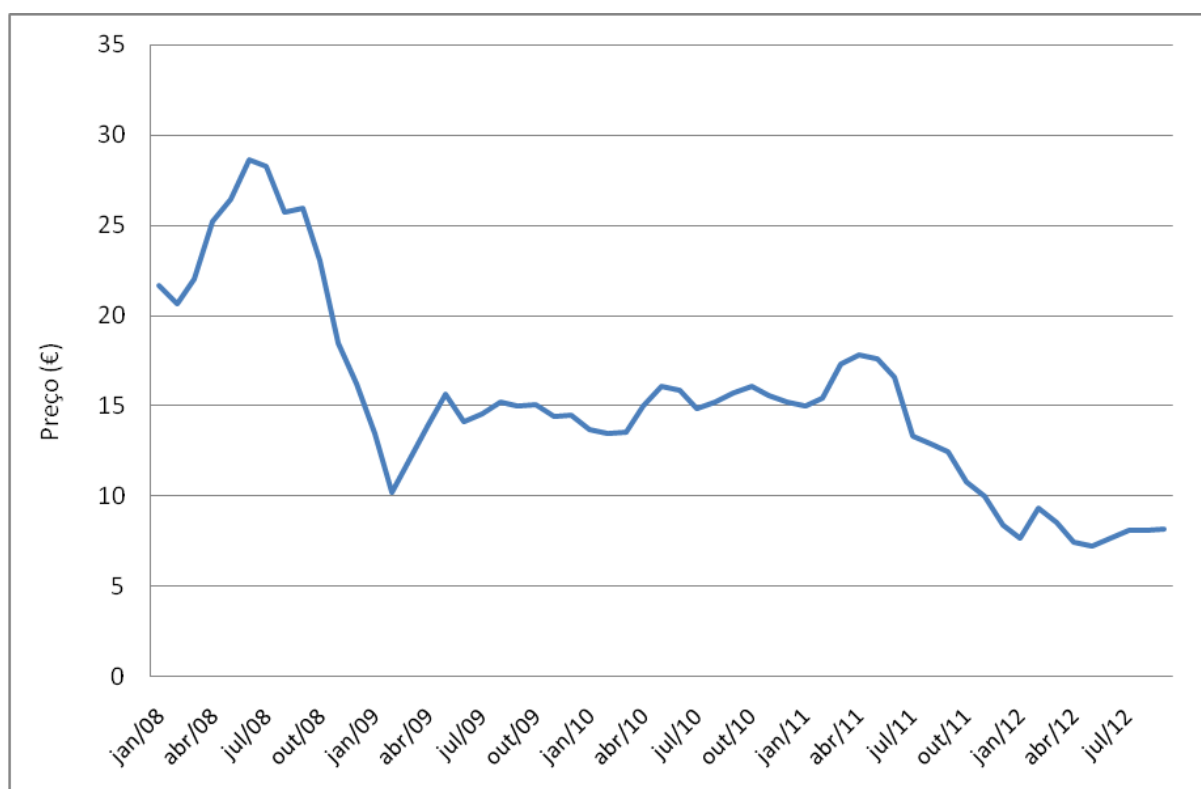
O mercado de crédito de carbono é dividido em dois grupos: oficial e voluntário. O primeiro é assim designado por ser aquele que está em conformidade com o Protocolo de Quioto, e nele, o principal objetivo é viabilizar o cumprimento das metas estabelecidas no Protocolo. O segundo funciona com base em metas estabelecidas de forma voluntária por empresas ou governos, entretanto, isso não o torna menos importante. Os créditos de carbono são negociados tanto em mercado de balcão (com menor regulamentação), como regulado em bolsas (contratos padronizados) (PORTO; CORREIA, 2012).

É importante ressaltar que este trabalho não se propõe a analisar detalhes a respeito da possível submissão de um projeto de biodiesel a Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, apesar de já existir projeto com esse escopo submetido ao Mecanismo. O objetivo aqui é ter uma referência monetária da quantidade de CO<sub>2</sub> que deixa de ser emitida em decorrência do uso do biodiesel, por entender que a unidade monetária é de maior compreensão dos leitores.

A *Ice* divulga em seu site os preços de diversos mercados, entre eles o *Emissions Morning Marker* da ECX, que comercializa *European Union Allowance Unit of one CO<sub>2</sub> (EUA)* que equivale a *Assigned Amount Unit de CO<sub>2</sub> (AAU)*, definido em Quioto, e que no Brasil denomina-se comumente de Redução Certificada de Emissão (RCE).

Entre junho de 2008 e dezembro de 2011, os contratos futuros firmados com resgate em dezembro de 2012 tiveram preço mediano de 15,74 €/tCO<sub>2</sub>. Considerando-se apenas os contratos firmados em 2011, com a mesma data de resgate, o preço mediano foi de 13,78 €/tCO<sub>2</sub>. Percebe-se que a crise europeia provocou forte impacto nos preços e, no primeiro semestre de 2012, o preço mediano caiu para 7,21 €/tCO<sub>2</sub>. No mesmo período, os contratos firmados com vencimento para dezembro de 2013 o preço mediano foi 8,10 €/tCO<sub>2</sub>. O Gráfico 16, a seguir, apresenta os preços dos contratos firmados entre janeiro de 2008 e setembro de 2012, independente da data de vencimento. Nele é possível perceber que tanto na crise iniciada no final de 2008, como na de 2011, ocorreu queda nos preços da EUA.

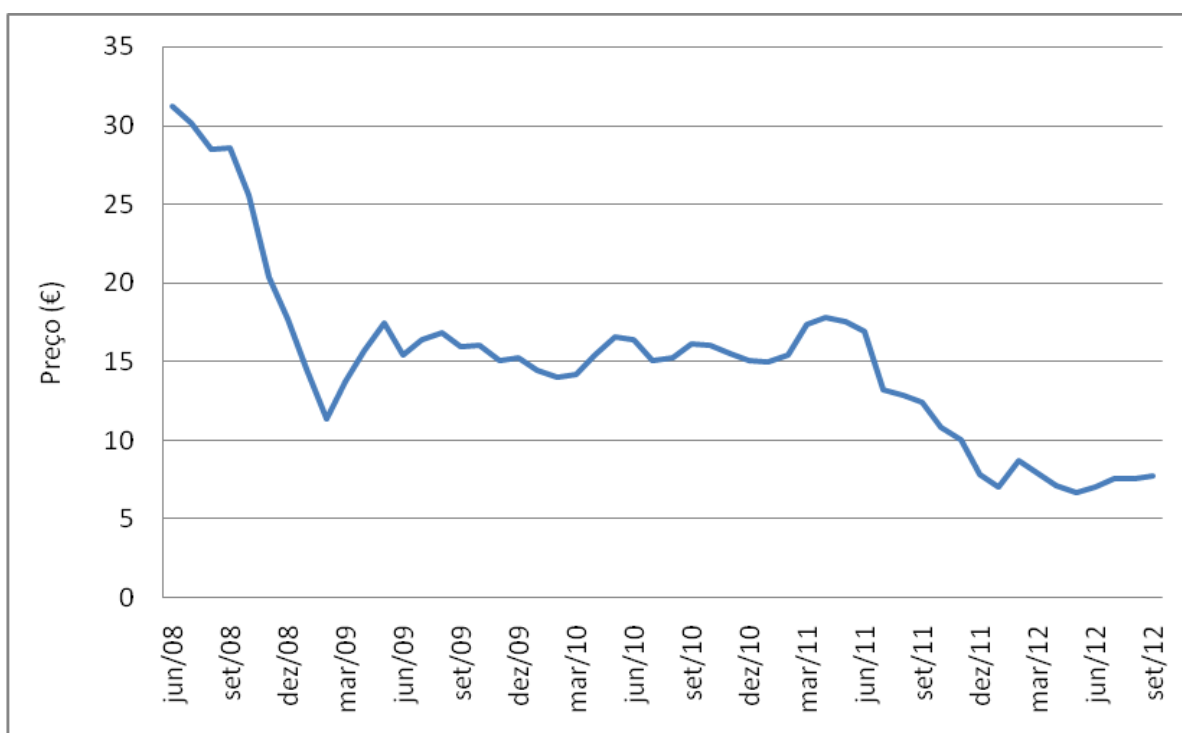
Gráfico 16: Contratos firmados (jan/2008-set/2012) - *Ice ECX European Emissions Morn*



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do *Ice Data*, 2013

Ao observar apenas os contratos com vencimento em dezembro de 2012, apesar da constatação de que os valores são diferentes, pode-se notar que acompanha a mesma tendência, conforme mostra o Gráfico 17.

Gráfico 17: Contratos firmados (jan/2008-set/2012) com vencimento em dez/2012 – *Ice ECX European Emissions Morn*

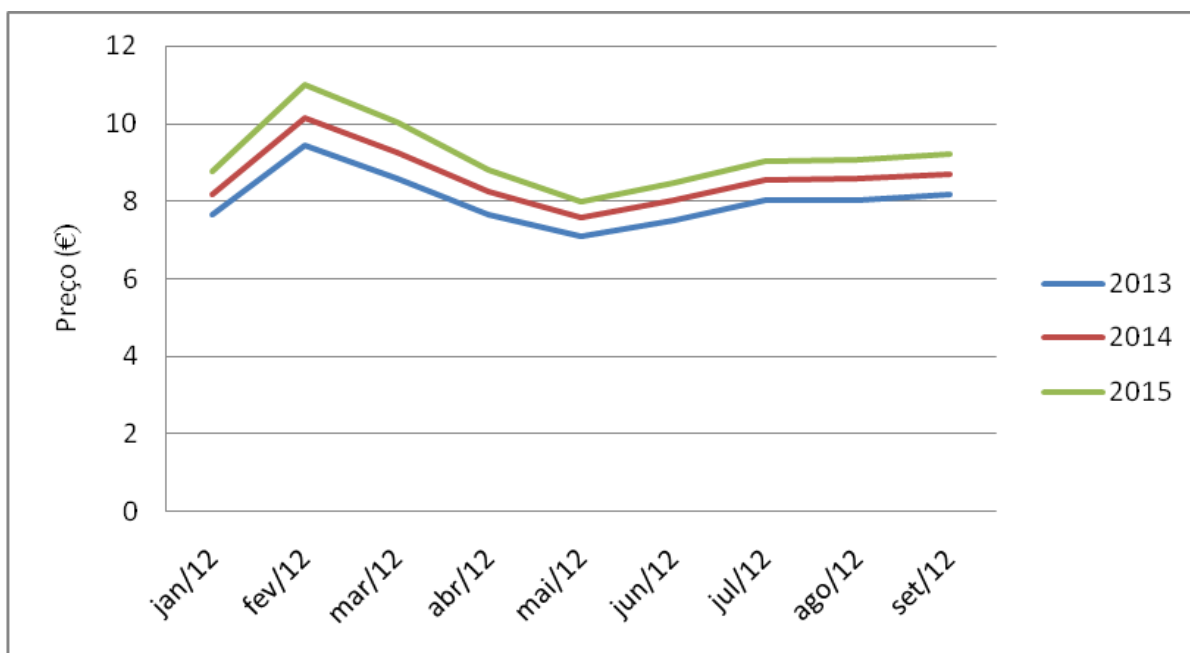


Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do *Ice Data*, 2013

Assim, esse trabalho adota como referência para monetizar as emissões passadas o preço mediano dos contratos firmados entre junho de 2008 e setembro de 2012 com vencimento em dezembro de 2012 (15,27 €/tCO<sub>2</sub>).

Para a monetização das emissões futuras, são adotados como referência os valores dos contratos firmados entre janeiro e setembro de 2012 com vencimento em dezembro de 2014. Nos dados coletados, existem contratos firmados nesse período de 2012 com vencimento em dezembro de 2013, dezembro de 2014 e dezembro de 2015. Adotou-se a mediana dos valores de 2014 (8,54 €/tCO<sub>2</sub>), por serem os valores intermediários, como pode ser visto no Gráfico 18, a seguir. Ressalta-se que é apenas uma referência para uma melhor observação dos resultados encontrados.

Gráfico 18: Contratos firmados (jan/2008-set/2012) com vencimento em dez/2012, dez/2013 e dez/2014 – Ice  
ECX *European Emissions Morn*



Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do Ice Data, 2013

Para viabilizar a comparação dos valores encontrados calcula-se o valor atual dos resultados encontrados. De acordo com Gomes e Mathias (2004), o Valor Atual (V) equivale a ao valor de uma aplicação em data anterior ao seu vencimento. E o Valor Nominal (N) é o valor na data do vencimento. Assim, considerando-se um regime de juros compostos tem-se que:

$$V = \frac{N}{(1+i)^n} \quad (36)$$

Onde:  $i$  é a taxa de juros utilizada (nesse caso, taxa de desconto);

$n$  é o número de período que se deseja retroceder.

De acordo com Pindyck e Rubinfeld (2009), a taxa de desconto indicada no *Stern Review on the Economics of Climate Change* é de 1,3% ao ano. No entanto, existem autores que criticam essa taxa, afirmando que é demasiadamente baixa, como, por exemplo, Weitzman (2007). Dessa forma, utiliza-se, neste trabalho, como taxa de desconto, não apenas 1,3%; mas também 3% e 5%, duas das três taxas de crescimento adotadas, porque segundo Weitzman (2007), o crescimento deve ser levado em consideração na definição da taxa de desconto.



Os resultados encontrados referentes às emissões evitadas passadas são comparados com os gastos com saúde no Brasil, que são convertidos para Euro com base na cotação mediana de 2012 e 2011, respectivamente. Os dados de gastos com saúde no Brasil foram obtidos no sítio da Organização Mundial de Saúde (OMS).

## 5 RESULTADOS

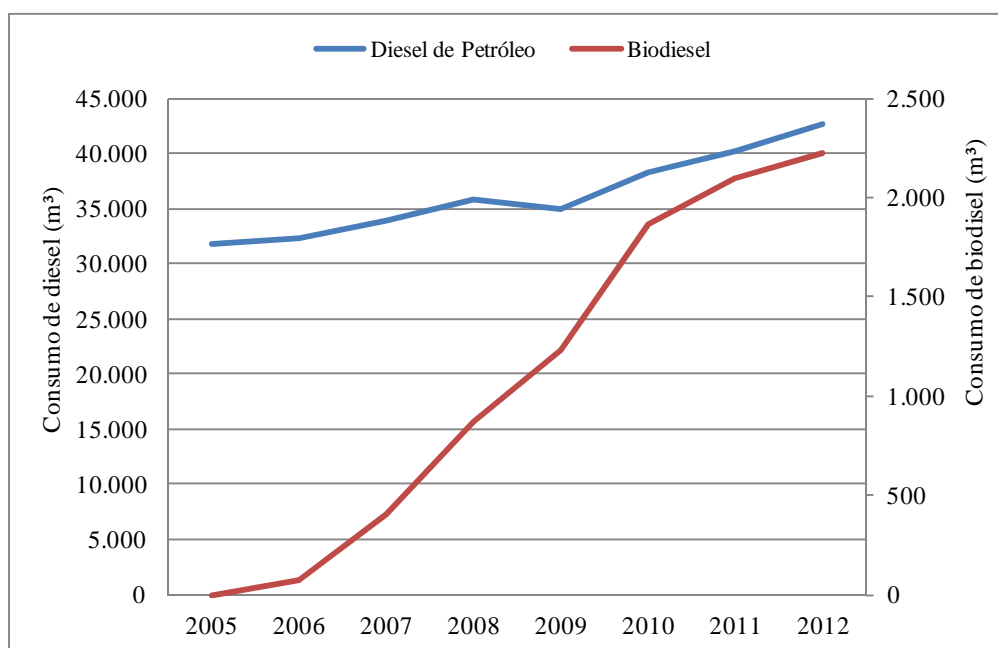
No transporte brasileiro, a mistura do biodiesel ao diesel iniciou-se em 2005 de forma facultativa e em 2008 de forma obrigatória. Desde então, devido ao fato de o biodiesel ser um combustível que emite menor quantidade de CO<sub>2</sub> do que o diesel, emissões de CO<sub>2</sub> são evitadas. De acordo com o Balanço Energético Nacional, em 2012, o diesel correspondeu a, aproximadamente, metade da energia consumida no setor de transporte.

Neste capítulo são avaliados os resultados das estimativas das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> (2005-2012), na primeira seção, e das estimativas das emissões evitadas futuras (2013-2017), na segunda seção. Nas respectivas seções, também são apresentadas a monetização desses resultados.

### 5.1 EMISSÕES EVITADAS DE CO<sub>2</sub> (2005-2012)

Antes de apresentar as Emissões Evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do uso do biodiesel, apresenta-se o consumo dos combustíveis, diesel e biodiesel, porque as emissões evitadas derivam da quantidade consumida de cada combustível. O Gráfico 19 apresenta o consumo dos dois combustíveis no setor de transporte no Brasil, entre 2005 e 2012.

Gráfico 19: Consumo do diesel e biodiesel, no setor de transporte brasileiro



Fonte: Elaborado pela autora, 2013

Observando o consumo do diesel e do biodiesel, é possível notar uma pequena alteração na proporção desses combustíveis a partir de 2010, ano em que se tornou obrigatória a mistura de 5% de biodiesel ao diesel, situação que permaneceu sem alteração até o ano de 2012. Portanto, desde então, a variação nas emissões evitadas de CO<sub>2</sub> acompanham quase que exclusivamente a variação no consumo do diesel, sem influência de alteração de percentual da mistura.

Conforme metodologia exposta no capítulo anterior, são estimadas, inicialmente, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> entre os anos de 2005 e 2012 em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel no transporte brasileiro. Os dados de consumo do biodiesel no setor de transporte são retirados do Balanço Energético Nacional. A Tabela 7, a seguir, apresenta os resultados encontrados para esse período. Nela, é possível visualizar as emissões provenientes do consumo do diesel e do biodiesel, bem como a simulação caso o consumo fosse todo convertido para diesel. Por fim, a última linha da Tabela 7 apresenta as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do consumo do biodiesel no período 2005-2012.

Tabela 7: Emissões de CO<sub>2</sub> e emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelo uso do diesel e biodiesel no setor de transporte brasileiro

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Diesel de Petróleo</b>	93.102	94.716	99.462	104.841	102.563	112.174	117.993	125.230
<b>Biodiesel</b>	0,37	34,50	202,16	438,02	613,80	931,94	1.049,23	1.110,84
<b>Total</b>	93.102	94.751	99.665	105.279	103.176	113.106	119.043	126.341
<b>Considerando tudo diesel</b>	93.104	94.918	100.647	107.408	106.159	117.635	124.142	131.739
<b>Emissões evitadas de CO<sub>2</sub></b>	1,79	168	983	2.129	2.983	4.529	5.099	5.399

Nota: A unidade do CO<sub>2</sub> é 10<sup>3</sup> t CO<sub>2</sub> eq.

Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do BRASIL, 2013 e de cálculos feitos com base em dados da EPE, 2007

A Tabela 7 mostra que, desde o início do marco regulatório, o biodiesel proporcionou um impacto favorável na emissão de CO<sub>2</sub> proveniente do transporte brasileiro. No entanto, esse impacto tornou-se mais significativo com o início da obrigatoriedade da adição do biodiesel ao diesel, em 2008 (SÁ OLIVEIRA *et al.*, 2012).

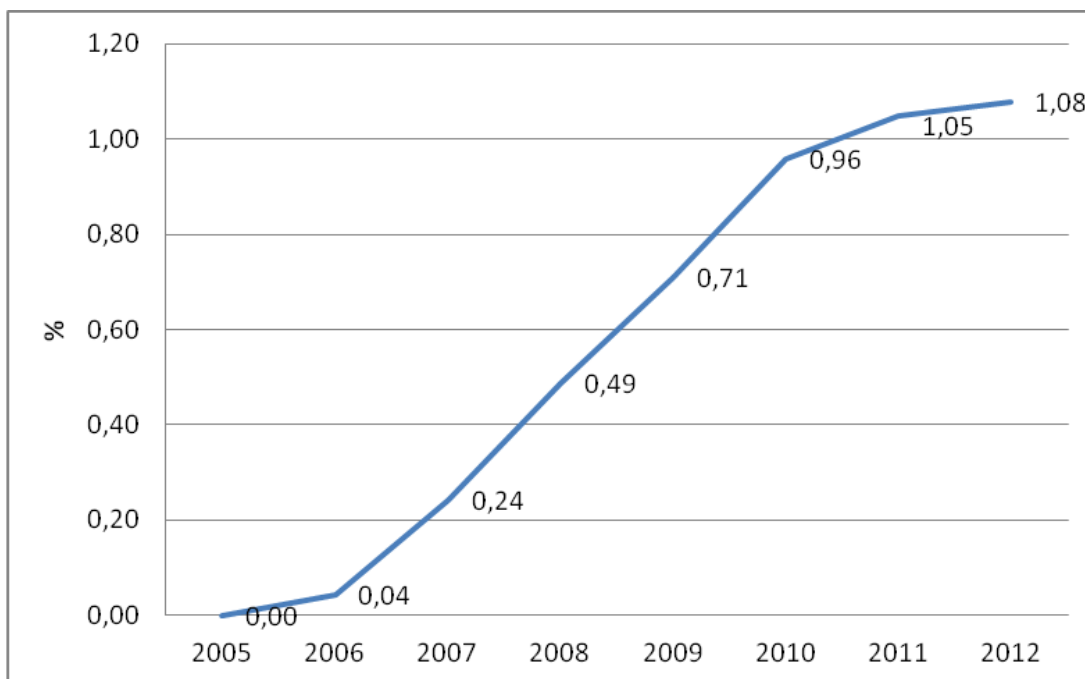
Ainda não é possível observar um comportamento muito claro nos dados, o que é um resultado esperado. Isso acontece porque os primeiros anos da Tabela 7 refletem um período de consumo instável de biodiesel, devido à adaptação à vigência de nova legislação, e

mudanças no percentual obrigatório da mistura (começou com 2% e aumentou progressivamente até chegar a 5%).

A quantidade total<sup>16</sup> de emissões CO<sub>2</sub> proveniente do Brasil é divulgada pela *British Petroleum* (BP). Como não são divulgados os dados por setor, os resultados de emissões evitadas de CO<sub>2</sub> apresentados na Tabela 7 são comparados com as emissões de CO<sub>2</sub> totais do Brasil.

Todavia, ao refletir sobre o exposto ao longo do trabalho, percebe-se que essa é uma comparação coerente, porque os impactos da elevada quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> e o acúmulo desse gás é que provoca consequências negativas para a população, independente de qual setor é responsável pela emissão. Dessa forma, o Gráfico 20 evidencia a representatividade das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em relação às emissões de CO<sub>2</sub> no país.

Gráfico 20: Emissões evitadas de CO<sub>2</sub> no transporte brasileiro em relação às emissões brasileiras totais de CO<sub>2</sub>



Nota 1: As emissões totais aqui são retratadas as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de petróleo, gás e carvão; e são baseados em fatores médios de conversão.

Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do BRASIL, 2013, de cálculos feitos com base em dados da EPE, 2007 e da BP, 2013

<sup>16</sup>As emissões totais aqui são retratadas as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de petróleo, gás e carvão; e são baseados em fatores médios de conversão.

Com a observação da Tabela 7 e do Gráfico 20, é possível notar que não apenas o volume das emissões evitadas cresceu, mas também, sua representatividade no montante das emissões de CO<sub>2</sub> do país. Deve-se reconhecer que, com o início da obrigatoriedade da adição do biodiesel ao diesel em 2008, esse efeito tornou-se mais significativo, ultrapassando, em 2011 e 2012, a marca de 1%. Isso indica que de maneira geral, os consumidores de diesel no Brasil irão optar pelo combustível mais barato, mesmo que seja o combustível que provoca mais danos à sociedade. Portanto, remete à necessidade da regulação para internalizar, mesmo que parcialmente, a externalidade causada pelo consumo do diesel.

Estudo realizado por Pereira (2008) tentou explicar algumas questões acerca da escolha do consumidor em relação ao diesel e ao biodiesel. Fez-se uma pesquisa de campo com aplicação de questionários com caminhoneiros oriundos de diversas partes do país, principalmente sul, sudeste e nordeste, que passaram por Vitória da Conquista – BA.

Quando questionados a respeito do diesel, 78% afirmaram acreditar que o combustível provoca poluição, enquanto que 17,6% responderam não provocar. Ademais, o autor afirma que os entrevistados não responderam de forma imediata aos questionamentos, o que indica que não existe pleno conhecimento do assunto. E mais, os que afirmaram que o diesel provoca poluição, não sabem como isso ocorre.

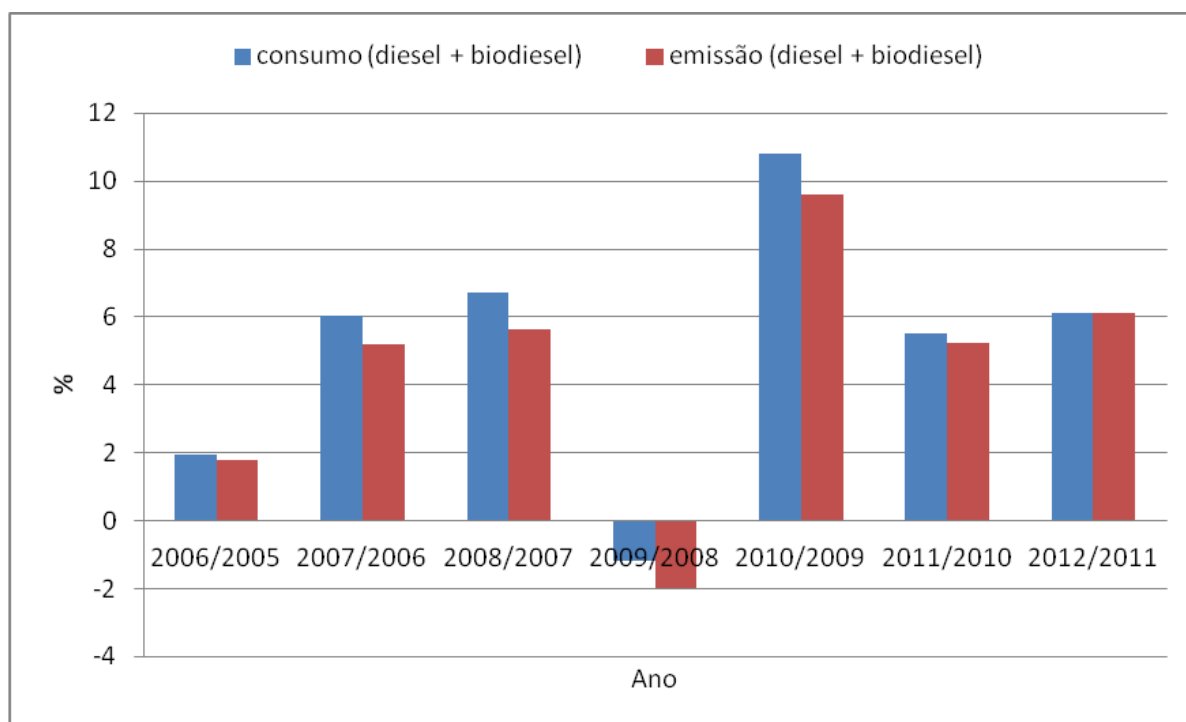
Quando questionados a respeito dos motivos que os levam a realizar manutenção periódica nos seus veículos, apenas 4,49% alegaram realizar a manutenção devido a questões ambientais. Observa-se que a questão ambiental é sempre secundária quando comparada com a rentabilidade (PEREIRA, 2008).

Isso acontece, em parte, porque permanece o conceito do marketing tradicional, onde o foco é atingir os objetivos a partir da satisfação dos consumidores, sem incorporar a melhoria da qualidade de vida na sociedade (DIAS, 2007 *apud* PEREIRA, 2008). No entanto, Pereira (2008) afirma ainda que, provavelmente, é a falta de informação que leva os caminhoneiros a darem baixa importância a questões ambientais. Usualmente, a divulgação na mídia não prioriza a linguagem dessa classe.

Quando indagados sobre quais motivos o levariam a utilizar o biodiesel, 9,8% dos entrevistados responderam ‘para preservar o meio ambiente’, o que indica a necessidade de incluir a questão ambiental como pauta obrigatória nas escolas, de modo a melhorar a conscientização quanto a necessidade de medidas que mitiguem a poluição ambiental (PEREIRA, 2008). Por fim, quando se perguntou se sabiam o que era biodiesel, 73,2% dos entrevistados afirmaram que sim. Todavia, quando se tentou fornecer uma definição do termo, ainda que de maneira simples, nenhum deles conseguiu chegar a uma resposta correta e 40,5% dos entrevistados afirmaram ter tido conhecimento do mesmo por meio da televisão. No que diz respeito à utilização do biodiesel, 36,6% afirmaram já ter abastecido com esse combustível, 36,4% afirmaram que não e 27,1% alegaram não saber se já utilizaram ou não. Essas respostas evidenciam baixo conhecimento a respeito do combustível e as questões ligadas a ele (PEREIRA, 2008).

De maneira geral, o que se percebe é que os caminhoneiros, parcela significativa dos consumidores de biodiesel, não tem um entendimento claro da proposta do biodiesel, o que pode ser evidenciado pela diversidade de definições apresentadas. A mídia, destacadamente os programas jornalísticos, foi fator relevante para a massificação e a popularização do termo biodiesel, mas deixou a desejar na tarefa de proporcionar um entendimento em torno dos objetivos desse combustível (PEREIRA, 2008). Dessa forma, percebe-se que é preciso mais informação a respeito das questões ambientais e do biodiesel, especificamente, para que os consumidores e a população, de maneira geral, seja capaz de compreender seus benefícios. E mais, para que o Brasil seja capaz de oferecer, por exemplo, diferentes percentuais de biodiesel no momento que o consumidor for ao posto abastecer seu veículo, é necessário que os consumidores brasileiros tenham atingido grande nível de informação e consciência a respeito do assunto para que parte deles opte por maior percentual de biodiesel, mesmo que a um custo mais alto.

O Gráfico 21, a seguir, apresenta o crescimento (em relação ao ano anterior) do consumo no setor de transporte, dos combustíveis estudados (diesel e biodiesel) e das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo desses combustíveis, nesse setor.

Gráfico 21: Taxa de crescimento anual do consumo e emissão de CO<sub>2</sub> – diesel e biodiesel

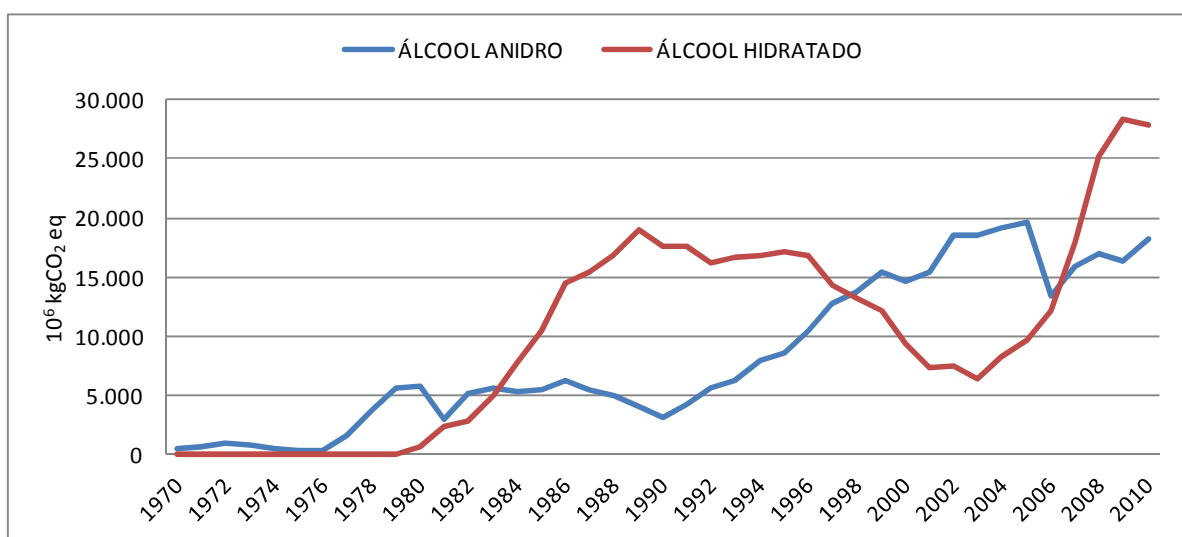
Fonte: Elaborado pela autora, 2013 a partir de dados do BRASIL, 2013

A partir do Gráfico 21, nota-se que, no comparativo entre 2011 e 2010, ocorreu um crescimento de consumo maior que o crescimento das emissões evitadas. Isso indica que ocorreu uma redução no consumo voluntário, visto que nesse período não ocorreu alteração do percentual obrigatório de biodiesel misturado ao diesel. Este resultado é um processo natural, visto que o consumo voluntário no Brasil é praticamente impossível, pois o consumidor comum não tem a possibilidade de comprar o biodiesel puro ou de optar por percentual diferentes do mandatário nos postos de combustível. Portanto, os dados do BEN comprovam que o consumo voluntário do biodiesel chegou a existir, mas acabou desaparecendo.

No comparativo entre 2012 e 2011, o crescimento dessas variáveis praticamente se igualou, estando as emissões de CO<sub>2</sub> 0,01% acima do crescimento do consumo desses combustíveis, o que pode indicar uma variação no consumo não obrigatório do biodiesel, ou apenas um erro natural em estimativas, mas completamente aceitável nesse percentual.

Para efeito de comparação, pode-se observar alguns dados referentes ao etanol, principal biocombustível utilizado no Brasil. A Figura 9, a seguir, apresenta as Emissões Evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do uso do etanol no transporte brasileiro.

Figura 9: Emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do uso do etanol



Fonte: SÁ OLIVEIRA e outros, 2012

O álcool anidro tem seu consumo vinculado à gasolina e, da mesma forma que o biodiesel ao diesel, é estabelecido um percentual de mistura do álcool anidro a gasolina. O álcool hidratado é consumido de forma alternativa. Por isso visualiza-se o comportamento inverso das duas curvas.

Ao comparar os resultados do etanol com os resultados apresentados pelo biodiesel, percebe-se que a redução das emissões proporcionadas pelo uso do etanol é muito mais significativa do que a as emissões evitadas devido ao uso do biodiesel. No entanto, deve-se observar que o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira a menos de uma década e sua utilização é sempre subordinada ao uso do diesel, o que não acontece com o etanol em relação à gasolina (SÁ OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Para auxiliar a observação das emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, elas são convertidas em dados monetários, que facilitam comparações. São calculados os valores presentes para o ano de 2012. O resultado depende da taxa de desconto que é utilizada. Por isso, o trabalho apresentou os resultados com cinco taxas diferentes, escolhidas com base na literatura, com o objetivo observar cenários possíveis e de tornar os resultados confiáveis. A análise parte da taxa de



desconto igual a 1,3%, por ser a indicada no *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Também são utilizadas as taxas 3%, 5%, 7% e 10% devido ao custo de oportunidade. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Valor presente das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel

Ano	Emissão Evitada (10 <sup>3</sup> t CO <sub>2</sub> eq)	Valor Presente (1.000€) (i=1,3%)	Valor Presente (1.000€) (i=3%)	Valor Presente (1.000€) (i=5%)	Valor Presente (1.000€) (i=7%)	Valor Presente (1.000€) (i=10%)
2005	1,79	29,89	33,59	38,43	43,85	53,22
2006	168	2.767	3.057	3.431	3.842	4.536
2007	983	16.004	17.393	19.148	21.043	24.163
2008	2.129	34.230	36.587	39.512	42.610	47.593
2009	2.983	47.351	49.776	52.732	55.803	60.629
2010	4.529	70.971	73.373	76.250	79.183	83.685
2011	5.099	78.878	80.202	81.759	83.316	85.652
2012	5.399	82.438	82.438	82.438	82.438	82.438

Nota 1: O ano base utilizado é 2012

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Conforme explicado no capítulo anterior, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> foram monetizadas com base em valores de crédito de carbono. Todos os valores da Tabela 8 foram levados para o ano 2012 de acordo com as taxas apresentadas. Nota-se que, no início do período obrigatório da mistura em 2008, os valores tornam-se mais expressivos. Mas é em 2010, com o início da vigência da mistura com percentual de 5% de biodiesel, que se percebe uma mudança mais significativa nos dados. Esse resultado indica que o consumo voluntário é baixo, tanto porque os consumidores preferem pagar um combustível mais barato, como pela forma de comercialização do biodiesel estabelecida no Brasil, que inviabiliza o consumo deste tipo.

Apesar da constatação da dependência da taxa de desconto, ressalta-se que, em todos os casos apresentados, a taxa vai variar a dimensão do benefício, mas não altera a constatação de que o uso do biodiesel em substituição ao diesel é benéfico à população, e caso fosse convertido em crédito de carbono, os gastos seriam mitigados, podendo até tornar-se uma fonte de recursos para o país.

Caso as emissões evitadas fossem de fato monetizadas, os valores apresentados na Tabela 8 significam apenas o ganho financeiro direto, sem exprimir os ganhos devido à redução das externalidades. Ou seja, sem avaliar os ganhos para o meio ambiente e todas as consequências já mencionadas que estão ligadas a essa questão.

É interessante pensar que, se, de fato, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> fossem convertidas em crédito de carbono elas poderiam mitigar os custos adicionais em decorrência do uso do biodiesel. Tem-se que o **gasto adicional decorrente do uso de biodiesel em substituição ao diesel** é igual a: (Preço do biodiesel – Preço do diesel) x Consumo do biodiesel.

Assim, deduzindo do valor associado à **monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> decorrentes da substituição do diesel pelo biodiesel** o **gasto adicional decorrente do uso de biodiesel em substituição ao diesel**, chega-se ao **benefício líquido com a substituição** do diesel pelo biodiesel. Os resultados são apresentados na Tabela 9. Assim, tem-se que:

**Benefício líquido com a substituição** = monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> decorrentes da substituição do diesel pelo biodiesel - gasto adicional decorrente do uso de biodiesel em substituição ao diesel

Tabela 9: Benefício líquido com a substituição do diesel pelo biodiesel, no setor de transporte brasileiro

Ano	Benefício líquido com a substituição (i=1,3%)	Benefício líquido com a substituição (i=3%)	Benefício líquido com a substituição (i=5%)	Benefício líquido com a substituição (i=7%)	Benefício líquido com a substituição (i=10%)
2008	6,35	6,79	7,33	7,90	8,83
2009	-55,91	-58,77	-62,26	-65,89	-71,59
2010	0,83	0,86	0,89	0,93	0,98
2011	-122,69	-124,75	-127,17	-129,60	-133,23
2012	-299,36	-299,36	-299,36	-299,36	-299,36

Nota 1: Os valores estão em milhões de €

Fonte: Elaboração própria, 2013

Com base na Tabela 9, nota-se que, em 2008, o valor das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> foi maior que o gasto extra com a substituição do diesel pelo biodiesel. Nos anos seguintes, acontece grande oscilação nos valores do benefício. Em 2009 torna-se negativo, porque com a crise econômica iniciada no final de 2008 ocorreu redução no consumo de diesel e aumento do consumo de biodiesel, devido ao aumento do percentual da mistura obrigatória. A partir de 2011 os saldos tornam-se cada vez mais negativos.

O uso do biodiesel é uma forma de internalizar a externalidade causada pelo consumo do diesel. Mas, cabe observar que os valores apresentados na Tabela 9 não computam totalmente as externalidades.

Por isso, esses valores podem também ser observados de outra forma. Entre as consequências mencionadas do excesso de poluição estão os danos à saúde. Dessa forma, os valores podem ser comparados com os gastos com saúde no Brasil. A Organização Mundial da Saúde (OMS) divulga os gastos com saúde de vários países, entre eles o Brasil. A relação entre o valor monetário das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em relação aos gastos com saúde no Brasil são apresentados na Tabela 10. Os resultados são apresentados em percentual para as diferentes taxas de desconto utilizadas.

Tabela 10: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil

Ano	i=1,3%	i=3%	i=5%	i=7%	i=10%
2005	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
2006	0,002%	0,002%	0,003%	0,003%	0,003%
2007	0,013%	0,014%	0,015%	0,016%	0,018%
2008	0,028%	0,029%	0,031%	0,033%	0,036%
2009	0,039%	0,040%	0,042%	0,043%	0,046%
2010	0,058%	0,059%	0,060%	0,061%	0,063%
2011	0,065%	0,065%	0,065%	0,065%	0,065%

Nota 1: O ano base adotado é 2011

Nota 2: Os resultados são obtidos a partir da divisão da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelos gastos com saúde no Brasil

Fonte: Elaboração própria, 2013

Os resultados não são muitos significativos, mas nota-se um grande avanço do início do marco regulatório do biodiesel até o ano de 2011 (os dados de 2012 não foram divulgados até a data de finalização do trabalho). Ressalta-se ainda que a comparação aqui é feita com os gastos totais com saúde. Resultados mais significativos seriam encontrados se fossem utilizados gastos específicos com doenças relacionadas com poluição do ar, no entanto, essa análise não faz parte do escopo do trabalho. Observa-se ainda que o aumento progressivo das emissões evitadas provavelmente conduzem a uma otimização dos gastos com saúde, visto que deve reduzir gastos nas doenças relacionados com poluição do ar e direcionado para outras áreas da saúde que tenham carência de recursos.

### 5.1.1 Cenário de Emissões Evitadas Passadas com B10

Já existem discussões a respeito da possibilidade de aumentar o percentual do biodiesel misturado ao diesel de 5% para 10%. Essa mistura é denominada de B10. Assim, faz-se aqui o exercício de estimar quanto de emissão teria sido evitada, caso o percentual obrigatório da

mistura fosse de 10% desde o início do marco regulatório (2005). Os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valor presente das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel: B10

<b>Ano</b>	<b>Emissão Evitada (10<sup>3</sup> t CO<sub>2</sub> eq.)</b>	<b>Valor Presente (1.000€) (i=1,3%)</b>	<b>Valor Presente (1.000€) (i=3%)</b>	<b>Valor Presente (1.000€) (i=5%)</b>	<b>Valor Presente (1.000€) (i=7%)</b>	<b>Valor Presente (1.000€) (i=10%)</b>
2005	7.721	129.063	145.009	165.905	189.331	229.765
2006	7.855	129.616	143.227	160.745	180.013	212.499
2007	8.249	134.364	146.024	160.762	176.667	202.862
2008	8.695	139.813	149.437	161.387	174.038	194.393
2009	8.506	135.019	141.931	150.361	159.118	172.880
2010	9.303	145.777	150.710	156.620	162.643	171.891
2011	9.786	151.372	153.912	156.901	159.889	164.372
2012	10.386	158.593	158.593	158.593	158.593	158.593

Nota 1: O ano base utilizado é 2012

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Percebe-se um avanço. No ano de 2012, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> praticamente dobrariam, em relação ao que de fato aconteceu. O resultado é esperado porque nesse exercício o percentual de biodiesel é o dobro do percentual obrigatório em 2012. Em 2008, o aumento das emissões evitadas ultrapassariam os 300%, caso fosse utilizado o B10.

Conforme já foi comentado, o biodiesel ainda é um combustível muito recente na matriz energética brasileira. Os dados mostram que esse combustível tem um forte potencial para ser ainda mais relevante no cenário de emissões evitadas de CO<sub>2</sub> devido ao uso de biocombustíveis. A observação da Figura 9, com resultados do etanol, evidencia que é natural que o biocombustível comece com uma participação menor e cresça em seguida.

Os dados monetários variam de acordo com a taxa utilizada, em comportamento similar ao apresentado na Tabela 11. Mas, conforme aumenta o quantitativo das emissões evitadas, eles são mais relevantes. Ressalta-se que o objetivo de monetizar as emissões evitadas, neste trabalho, é a possibilidade de melhor compreensão e comparação dos dados. Por exemplo, como é complicado medir a externalidade negativa provocada pelo diesel e, da mesma maneira, quanto dessa externalidade é internalizada pela substituição do diesel pelo biodiesel, utiliza-se a monetização para facilitar mensurar e comparar os efeitos.

Assim, outra forma de observar a dimensão das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> é avaliando o benefício líquido com a substituição do diesel pelo biodiesel, ou seja, como explicado anteriormente, os valores monetizados das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel, no setor de transporte brasileiro menos o gasto extra decorrente da substituição do diesel pelo biodiesel no setor de transporte brasileiro. Os resultados para diferentes taxas de desconto são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Benefício líquido com a substituição do diesel pelo biodiesel, no setor de transporte brasileiro: B10

<b>Ano</b>	<b>Benefício líquido com a substituição (i=1,3%)</b>	<b>Benefício líquido com a substituição (i=3%)</b>	<b>Benefício líquido com a substituição (i=5%)</b>	<b>Benefício líquido com a substituição (i=7%)</b>	<b>Benefício líquido com a substituição (i=10%)</b>
2008	-79,65	-85,13	-91,94	-99,14	-110,74
2009	-247,08	-259,73	-275,16	-291,18	-316,37
2010	-73,10	-75,57	-78,53	-81,55	-86,19
2011	-307,95	-313,12	-319,20	-325,28	-334,40
2012	-652,06	-652,06	-652,06	-652,06	-652,06

Nota: Os valores estão em milhões de €

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

A Tabela 12 mostra que o aumento do consumo do biodiesel conduz a um saldo menor. Isso indica que o gasto extra da substituição do diesel pelo biodiesel cresce a uma velocidade maior que a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub>. Por isso, ao contrário da Tabela 9 anteriormente apresentada, a Tabela 12 apresenta apenas resultados negativos para o saldo, ou seja, o valor que poderia ser obtido com a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> é menor que o gasto extra ocorrido pela substituição do diesel pelo biodiesel. Esse resultado é esperado, porque aqui ocorre um maior consumo absoluto de biodiesel e maior proporção de biodiesel em relação ao diesel.

No entanto, apesar de ter adotado a monetização para viabilizar os resultados, a diminuição do saldo não permite afirmar que a externalidade negativa do diesel cresce a uma velocidade maior que a internalização possibilitada pelo biodiesel. Por isso, faz-se também a comparação entre a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde. Os resultados são apresentados na Tabela 13, a seguir. Eles são apresentados em percentual para as diferentes taxas de desconto utilizadas.

Tabela 13: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: B10

Ano	i=1,3%	i=3%	i=5%	i=7%	i=10%
2005	0,106%	0,117%	0,131%	0,147%	0,173%
2006	0,106%	0,115%	0,127%	0,139%	0,160%
2007	0,110%	0,117%	0,127%	0,137%	0,153%
2008	0,114%	0,120%	0,127%	0,135%	0,146%
2009	0,110%	0,114%	0,119%	0,123%	0,130%
2010	0,119%	0,121%	0,124%	0,126%	0,129%
2011	0,124%	0,124%	0,124%	0,124%	0,124%

Nota 1: O ano base adotado é 2011

Nota 2: Os resultados são obtidos a partir da divisão da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelos gastos com saúde no Brasil

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Observa-se que, com o percentual de biodiesel aumentado para 10%, a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> torna-se mais relevante, apesar de permanecer em um percentual baixo. Reafirma-se que, apesar de estar fora da análise proposta por este trabalho, resultados mais adequados seriam encontrados caso fossem utilizados os valores de gastos com saúde ligados às externalidades provocadas pelo consumo do diesel.

## 5.2 EMISSÕES EVITADAS FUTURAS DE CO<sub>2</sub> (2013-2017)

Nesta seção, a partir da curva de demanda do diesel estimada no capítulo anterior, estima-se a demanda do diesel nos próximos cinco anos. Os parâmetros para extrapolação é o crescimento mensal mediano da renda em cada ano. Em seguida, as taxas são anualizadas. Adota-se três diferentes cenários, com crescimento da renda de 3%, 5% e 10%. A partir do consumo estimado do diesel, calcula-se 5% dele e chega-se ao consumo do biodiesel. Adota-se o percentual de 5% por ser, atualmente, o percentual obrigatório da mistura. Ademais, assume-se que os demais parâmetros da equação permanecem constantes.

Nesta seção, os resultados para as diferentes taxas de crescimento de renda são similares. Por isso, os resultados são apresentados em sequência com uma única análise, para evitar excesso de repetições. As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam a quantidade de emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, quando a renda apresenta crescimento de 3%, 5% e 10%, respectivamente, bem como a monetização dessas emissões com as mesmas taxas de desconto utilizadas na seção anterior, 1,3%, 3%, 5%, 7% e 10%. Os resultados são apresentados com Valor Presente para 2012.

Tabela 14: Estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017:  
taxa de crescimento da renda de 3% ao ano

Ano	Emissão Evitada (10 <sup>3</sup> t CO <sub>2</sub> eq.)	Valor Presente (1.000€) (i=1.3%)	Valor Presente (1.000€) (i=3%)	Valor Presente (1.000€) (i=5%)	Valor Presente (1.000€) (i=7%)	Valor Presente (1.000€) (i=10%)
2013	6.690	56.396	55.465	54.409	53.392	51.935
2014	6.942	57.774	55.883	53.774	51.783	48.997
2015	7.207	59.211	56.327	53.169	50.243	46.244
2016	7.486	60.709	56.800	52.594	48.771	43.664
2017	7.778	62.272	57.300	52.047	47.361	41.246

Nota 1: O ano base utilizado é 2012

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Tabela 15: Estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017:  
taxa de crescimento da renda de 5% ao ano

Ano	Emissão Evitada (10 <sup>3</sup> t CO <sub>2</sub> eq.)	Valor Presente (1.000€) (i=1.3%)	Valor Presente (1.000€) (i=3%)	Valor Presente (1.000€) (i=5%)	Valor Presente (1.000€) (i=7%)	Valor Presente (1.000€) (i=10%)
2013	6.691	56.404	55.473	54.416	53.399	51.943
2014	6.946	57.806	55.914	53.804	51.812	49.024
2015	7.216	59.285	56.397	53.236	50.306	46.301
2016	7.502	60.843	56.925	52.710	48.878	43.760
2017	7.805	62.486	57.496	52.225	47.523	41.387

Nota 1: O ano base utilizado é 2012

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Tabela 16: Estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com a substituição do diesel pelo biodiesel para 2013-2017:  
taxa de crescimento da renda de 10% ao ano

Ano	Emissão Evitada (10 <sup>3</sup> t CO <sub>2</sub> eq.)	Valor Presente (2012) (1.000€) (i=1.3%)	Valor Presente (2012) (1.000€) (i=3%)	Valor Presente (2012) (1.000€) (i=5%)	Valor Presente (2012) (1.000€) (i=7%)	Valor Presente (2012) (1.000€) (i=10%)
2013	6.693	56.424	55.493	54.436	53.418	51.961
2014	6.955	57.885	55.990	53.877	51.882	49.091
2015	7.238	59.464	56.568	53.396	50.458	46.441
2016	7.542	61.167	57.228	52.991	49.139	43.993
2017	7.870	63.005	57.974	52.659	47.918	41.731

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

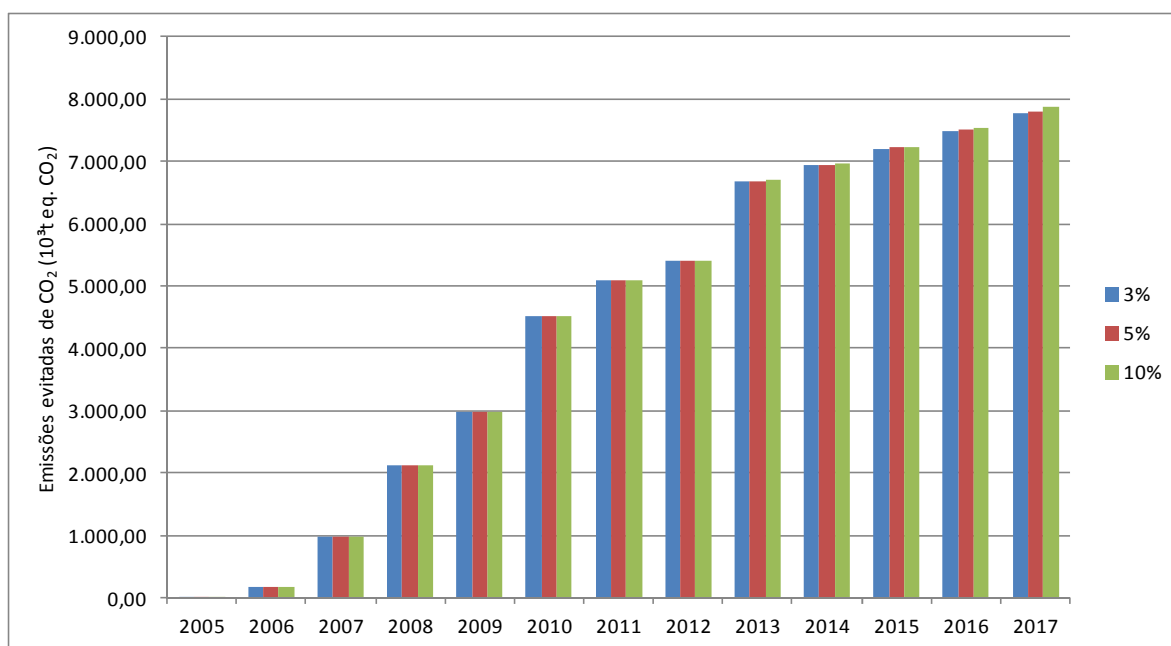
Observa-se que, com o crescimento da renda, *coeteris paribus*, ocorre um avanço das emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, em função do maior consumo de diesel e biodiesel, já que o consumo do segundo depende do consumo do primeiro. No entanto, o crescimento dos valores monetizados não ocorre no mesmo ritmo. Com a crise econômica internacional, ocorreu uma queda nos preços do crédito de carbono. Dessa forma, o valor utilizado para monetizar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> futuras é praticamente a metade do que foi utilizado para monetizar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> passadas, € 8,54 e € 15,27, respectivamente.

Assim, o valor presente cresce, mas não o esperado, quando se toma como parâmetro o crescimento da renda.

Em 2013, a diferença entre os resultados da monetização não é tão significativa, mas cresce ano a ano. Em 2017, os valores chegam a ser quase 50% maiores a depender da taxa de desconto utilizada. Ou seja, a determinação da taxa de desconto torna-se mais relevante a medida que a estimativa é feita para um período mais distante. Para valores baixos isso pode não ser tão relevante mas, a medida que o montante absoluto cresce, a diferença nos resultados tornam-se mais perceptíveis.

O Gráfico 22, a seguir, apresenta os resultados das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> agregando os resultados passados com os resultados estimados para os próximos cinco anos, também com a taxa de crescimento de renda de 3%, 5% e 10%.

Gráfico 22: Emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel associadas a taxas de crescimento da renda de 3%, 5% e 10%



Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Percebe-se que no período entre 2005 e 2012 ocorre uma grande variação de um ano para o outro, o que reflete as frequentes mudanças ocorridas no contexto do marco regulatório no biodiesel, o início do consumo obrigatório em 2008, e a frequente mudança no percentual obrigatório, que começou com 2% e chegou a 5% em janeiro de 2010. Entre 2005 e 2012 os



resultados são iguais porque as taxas de crescimento só começam a incidir a partir de 2013, antes disso são utilizados os dados do consumo que de fato aconteceu.

Nas previsões realizadas de acordo com a curva de demanda do diesel estimada nesse trabalho, a variação de um ano para o outro é constante. Isso acontece porque o consumo do biodiesel é mantido em 5% do consumo do diesel sem inclusão de nenhum consumo voluntário. No entanto, o que chama a atenção no Gráfico 22 é o salto no quantitativo das emissões evitadas ocorrido entre o ano de 2012 e 2013, ou seja, na passagem dos dados reais para os dados estimados. Isso acontece porque a estimativa leva em consideração apenas um aumento da renda, sem considerar nenhuma variação no preço do diesel, que apresentou recentemente um aumento.

Nota-se que as diferentes taxas de crescimento de renda apresentam resultados similares, mas quanto maior a taxa de crescimento da renda utilizada, maior é o salto entre os anos de 2012 e 2013. Isto ocorre porque o único parâmetro variado para as estimativas futuras é a renda, que no caso está aumentando.

As Tabelas 17, 18 e 19, a seguir, apresentam a comparação entre a monetização da estimativa das emissões evitadas futuras de CO<sub>2</sub>, supondo crescimento da renda de 3%, 5% e 10%, respectivamente, e os gastos com saúde no Brasil. Todos os resultados são apresentados em percentual, considerando Valor Presente de 2011, e os gastos com saúde são referentes a esse mesmo ano.

Tabela 17: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: taxa de crescimento da renda de 3% ao ano

Ano	i=1,3%	i=3%	i=5%	i=7%	i=10%
2013	0,046	0,045	0,043	0,041	0,039
2014	0,047	0,045	0,042	0,040	0,037
2015	0,048	0,045	0,042	0,039	0,035
2016	0,050	0,046	0,042	0,038	0,033
2017	0,051	0,046	0,041	0,037	0,031

Nota 1: O ano base adotado é 2011

Nota 2: Os resultados são obtidos a partir da divisão da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelos gastos com saúde no Brasil

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Tabela 18: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: taxa de crescimento da renda de 5% ao ano

Ano	$i=1,3\%$	$i=3\%$	$i=5\%$	$i=7\%$	$i=10\%$
2013	0,046	0,045	0,043	0,041	0,039
2014	0,047	0,045	0,042	0,040	0,037
2015	0,048	0,045	0,042	0,039	0,035
2016	0,050	0,046	0,042	0,038	0,033
2017	0,051	0,046	0,041	0,037	0,031

Nota 1: O ano base adotado é 2011

Nota 2: Os resultados são obtidos a partir da divisão da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelos gastos com saúde no Brasil

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Tabela 19: Monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> e os gastos com saúde no Brasil: taxa de crescimento da renda de 10% ao ano

Ano	$i=1,3\%$	$i=3\%$	$i=5\%$	$i=7\%$	$i=10\%$
2013	0,046	0,045	0,043	0,041	0,039
2014	0,047	0,045	0,043	0,040	0,037
2015	0,049	0,046	0,042	0,039	0,035
2016	0,050	0,046	0,042	0,038	0,033
2017	0,052	0,047	0,042	0,037	0,031

Nota 1: O ano base adotado é 2011

Nota 2: Os resultados são obtidos a partir da divisão da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelos gastos com saúde no Brasil

Fonte: Elaborada pela autora, 2013

Assim como as demais tabelas que comparam as monetizações das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com os gastos com saúde no Brasil, os percentuais encontrados não são muito significativos, mas dão um indicativo de que se pode encontrar resultados mais expressivos se um estudo detalhado a respeito dos gastos com saúde for elaborado.

Como a diferença entre o crescimento da renda utilizado na Tabela 17 (3%) e na Tabela 18 (5%) é pequena, os resultados apresentados nessas duas tabelas são iguais. Para visualizar diferença seria necessário utilizar mais casas decimais. Como o objetivo principal é ter ideia do valor da monetização das emissões evitadas em relação aos gastos com saúde, e não propriamente a diferença exata do resultado encontrado com diferentes taxas de desconto, manteve-se o resultado dessa forma. Apesar da Tabela 19 apresentar diferenças em relação à Tabela 18 (resultado das estimativas com crescimento mediano da renda igual a 5%), os resultados continuam muito similares.

Nesta última seção, não foram apresentadas estimativas de saldo entre o gasto adicional pelo uso do biodiesel em substituição ao diesel e a monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> decorrentes da substituição do diesel pelo biodiesel. Isso ocorreu porque, para isso, seria necessária a estimativa do preço futuro do diesel e do biodiesel, o que não é possível realizar, devido ao processo de formação desses preços.

Conforme dados divulgados pela ANP, o preço médio do biodiesel negociado nos cinco leilões realizados em 2013 alcançou uma média de R\$ 2,06/litro. Trata-se de uma queda de 18,25% em relação ao preço nominal médio de 2012. Desde 2008, é a média de preço médio mais baixa que o biodiesel já apresentou. O resultado favorável aos consumidores possui mais de uma justificativa, entre elas, a boa safra da soja, principal matéria-prima do biodiesel brasileiro, e a capacidade ociosa de produção de biodiesel existente no Brasil. Em contrapartida, em 2013, o preço médio do diesel sofreu acréscimo.

Portanto, esse capítulo apresenta a estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> em decorrência do consumo do biocombustível biodiesel em substituição ao diesel. Além disso, faz alguns exercícios: emissões evitadas caso o biodiesel fosse misturado ao diesel em um percentual de 10% desde o início do marco regulatório, 2005; e emissões evitadas futuras considerando-se apenas um acréscimo na renda. Com certeza os resultados apresentados, tanto os passados, mas principalmente os futuros, estão longe de serem exatos, mas apresentam uma observação inicial da trajetória do biodiesel até o momento, e um ponto de partida para reflexão das perspectivas futuras desse biocombustível na matriz energética brasileira.

## 6 CONCLUSÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural do planeta e o aquecimento provocado por ele viabiliza a vida na Terra. Todavia, uma pequena parte da comunidade científica questiona a intensificação desse fenômeno como consequência do padrão de produção e consumo estabelecido na sociedade moderna, principalmente após a Revolução Industrial.

Cientistas afirmam que as ações humanas aumentaram a quantidade e os tipos de Gases de Efeito Estufa (GEE), o que tem provocado a distribuição irregular de chuvas, o aumento ou diminuição de temperaturas da atmosfera e o aumento do nível do mar. É importante destacar que a piora na qualidade do ar também provoca impactos na saúde humana. Assim, conclui-se que, apesar de alguns cientistas divergirem em parte das questões ligadas à emissão de CO<sub>2</sub> e ao aquecimento da terra, existem consequências que são claras e justificam a necessidade da questão ser relevante para o Estado.

A observação da matriz energética é fundamental para identificar quais as principais fontes de energia consumida e fazer a reflexão a respeito de quais dessas fontes são mais poluentes. Desta forma, obtêm-se subsídios, necessários, mas não suficientes, para definir a melhor forma de intervir na questão.

O trabalho apresentou alguns conceitos de externalidade e, nesse contexto, percebeu-se que a formação do preço do diesel não internaliza os impactos sociais, ambientais e sanitários causados pelo consumo desse combustível. Desta forma, é necessário que o Estado atue como regulador, garantindo que os direitos existam e sejam respeitados, de forma a deixar o mercado o mais eficiente possível. O Estado também deve atuar para impedir a exaustão dos recursos que são de uso comum da sociedade, garantindo assim, a propriedade que cada cidadão tem sobre esse recurso.

A forma pela qual o Estado intervir deve ser decidida caso a caso, pois não existe uma solução universal para as externalidades. Em muitos casos, uma combinação bem estruturada dos instrumentos pode aumentar o potencial dos mesmos. Além disso, os instrumentos de mercado, como, por exemplo, impostos e taxas, supressão dos subsídios com efeitos negativos para o ambiente etc., são importantes para indicar, tanto para empresários como para famílias,

por meio da política de preços, a importância de padrões mais sustentáveis de produção e consumo (OCDE, 2008). Porém, verifica-se que, apesar das dificuldades existentes para monitorar a poluição, existem formas de mitigá-la. Por isso, o trabalho destacou a importância da utilização do biodiesel, um biocombustível que, apesar de ainda ser mais caro que o diesel, é capaz de internalizar, ao menos em parte, as externalidades provocadas pelo diesel. Portanto, o biodiesel possibilita mitigação dos impactos negativos do diesel.

Como este trabalho teve por foco as emissões de gases poluentes decorrentes da utilização de combustíveis fósseis, focou-se no setor de transporte, já que, de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional, este setor é o responsável por, em média, mais de 70% do consumo desses combustíveis no país. Além disso, é por meio deste setor que o governo tem feito, nas últimas décadas, tentativas de alterar o padrão consumo de combustíveis, através da criação de leis que obrigam o uso de biocombustíveis, com o propósito de aumentar a segurança energética e reduzir a emissão de GEE. Dentro deste setor, optou-se pelo estudo diesel porque, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional, em 2012, esse combustível correspondeu a, aproximadamente, metade da energia consumida no setor de transporte.

No trabalho foi feita uma estimativa das emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, bem como sua monetização com base no valor de crédito de carbono, em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel, tanto para o período 2005-2012, ou seja, do início do marco regulatório (apesar de o período de mistura obrigatória ter iniciado em 2008) até os dados mais atuais disponíveis, como também uma estimativa para os próximos cinco anos, 2013-2017. Não foi feita estimativa para um período mais longo para evitar um excessivo acúmulo de erros, visto que a estimativa foi feita com base em uma curva de demanda estimada do diesel, que já apresenta a limitação de ser feita com base apenas em uma variação de renda, mas com preço constante. Para estimar a curva de demanda do diesel foram utilizadas técnicas de cointegração e um Vetor de Correção de Erros (VEC), conforme indicação da literatura e os resultados de diversos testes realizados no E-views.

Para a estimativa das emissões evitadas passadas de CO<sub>2</sub>, percebeu-se que o início do período de uso obrigatório do biodiesel misturado ao diesel provocou um grande avanço no quantitativo de emissões evitadas de CO<sub>2</sub>. Isso significa que o consumo voluntário do

biodiesel é muito baixo, tanto pelo fato de ser um combustível mais caro, como pela sua forma de comercialização, que inviabiliza o consumo voluntário. Destaca-se que em 2012 as emissões evitadas atingiram o percentual de 1% de todas as emissões brasileiras de CO<sub>2</sub>, e que, apesar de ser um resultado tímido, o biodiesel é um combustível recente na matriz energética brasileira.

Ao monetizar os resultados e fazer uma comparação deles com o valor gasto a mais em decorrência da substituição do diesel pelo biodiesel, percebe-se que a utilização do biodiesel gera um custo, que aumenta à medida que cresce o percentual de biodiesel utilizado e o montante global. No entanto, ressalta-se que existem ainda ganhos derivados da redução da externalidade negativa do consumo do diesel. Os valores também foram comparados com os gastos com saúde no Brasil. Apesar de os resultados não serem muito significativos, nota-se um grande avanço do início do marco regulatório do biodiesel até o ano de 2011 (os dados de 2012 não foram divulgados até a data de finalização do trabalho). Observa-se ainda que o aumento progressivo das emissões evitadas provavelmente conduzem a uma otimização dos gastos com saúde.

Fez-se, também, um exercício supondo a utilização do B10 desde o início do marco regulatório. Percebeu-se uma progressão dos resultados, com destaque para o comparativo com os gastos com saúde, que passam a ser significativos na primeira casa decimal.

A estimativa das emissões evitadas futuras de CO<sub>2</sub> foram realizadas para o período 2013-2017 com diferentes taxas de crescimento da renda, 3%, 5% e 10%, e chegou-se a resultados similares, principalmente na comparação com os gastos com saúde no Brasil. Observa-se que mesmo que se mantenha o percentual da mistura do biodiesel ao diesel, caso a renda continue crescendo, ocorre um aumento nas emissões evitadas de CO<sub>2</sub>.

Com certeza os resultados apresentados, tanto os passados, mas principalmente os futuros, estão longe de serem exatos, mas apresentam uma observação inicial da trajetória do biodiesel até o momento, e um ponto de partida para reflexão das perspectivas futuras desse biocombustível na matriz energética brasileira.

O trabalho indica que, o uso do biodiesel gera um custo à sociedade. Mas deixa a ressalva de que, no atual padrão tecnológico, esse custo é necessário quando se almeja mitigar a externalidade causada pelo uso de combustíveis fósseis, e alerta que os custos, se observados mais atentamente, não são tão altos quanto parece à primeira vista.

Sugere-se para estudos futuros, a comparação da monetização das emissões evitadas de CO<sub>2</sub> com valores de gastos em saúde (pública e privada) direcionados a doenças que apresentem ligação com problemas ambientais. É possível também fazer as mesmas estimativas presentes nesse trabalho para outros combustíveis, como, por exemplo, o etanol, ou ainda, outras fontes de energia, como, por exemplo, a energia solar. Outro caminho é observar o impacto na saúde decorrente de modificações nos combustíveis, como, por exemplo, redução dos níveis de enxofre do diesel e da gasolina.

## REFERÊNCIAS

AKERLOF, George A.; KRANTON, Rachel E. Economics and Identity. **The Quarterly Journal of Economics**, Oxford, v. 115, ago. 2000.

ALLEY, Richard; *et al.* **Mudança do clima 2007**: a base das ciências físicas. Tradução do inglês: Anexandra de Ávila Ribeiro. Paris: IPCC/OMM, 2007.

ALENCAR, Martsung F.C.R. Noções básicas sobre juros e o combate histórico à usura. **Jus Navigandi**, Teresina, v. 11, n. 1000, 28 mar. 2006. Disponível em: <<http://jus.com.br/revista/texto/8158>>. Acesso em: 19 jan. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Biocombustíveis**. Brasília: ANP, 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=60467&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1393712614772>>. Acesso em: 6 fev. 2012.

BARCELLOS, Christovam *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, jul./ set. 2009. Disponível em: <[http://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/833/2/Barcellos\\_Mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf](http://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/833/2/Barcellos_Mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf)> . Acesso em: 3 dez. 2013.

BARTHOLOMEU, D. B. ; CAIXETA FILHO, J. V. Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso. **RESR**, Piracicaba/SP, v. 46, n. 3, p. 703-738, jul./set . 2008.

BARTHOLOMEU, D.B. **Potencial da negociação de crédito de carbono a partir da avaliação de trajetos alternativos para uma mesma rota rodoviária**: um estudo de caso. 2001. 95 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2001.

BERNARDELLI, Alexadro Garcia; ARAÚJO, Eliane Cristina de. Uma Análise dos determinantes do fluxo de capital de curto prazo para o Brasil no período 1999 a 2011 utilizando um modelo VAR estrutural. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 40., 2012, Porto de Galinhas. **Anais...**, Niterói – RJ: ANPEC, 2012.

BIODIESELBR. **Biodiesel no mundo**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-no-mundo.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2012.

BOLETIM MENSAL DE BIODIESEL. Brasília: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, jan. 2011. Mensal.

BOLETIM MENSAL DE BIODIESEL. Brasília: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, mar. 2012b. Mensal.



BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acesso em: 17 jun. 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 5.297**, de 6 de dezembro de 2004. Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/D5297.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5297.htm)>. Acesso em: 15 set. 2011.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 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. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2011.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.116**, de 18 de maio de 2005. Dispõe sobre o Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel e sobre a incidência da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins sobre as receitas decorrentes da venda desse produto; altera as Leis nos 10.451, de 10 de maio de 2002, e 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11116.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11116.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 276**, de 5 de maio de 2012. Determina a adoção do Critério de Confiabilidade “N-2” para o suprimento de energia elétrica a Brasília-DF, nos serviços públicos de transmissão e de distribuição. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2012/Port\\_276\\_Leilxo\\_NOVO\\_MODELO\\_.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2012/Port_276_Leilxo_NOVO_MODELO_.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2011.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2013**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompleta.aspx>>. Acesso em: 06 jul. 2013.

BRITISH PETROLEUM. **Statistical review of world energy 2011**. Disponível em: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-downloads.html>>. Acesso em: 20 jun. 2011

\_\_\_\_\_. **Statistical review of world energy 2013**. Disponível em: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-downloads.html>>. Acesso em: 3 dez. 2013

BUENO, Rodrigo da Silveira. **Economia de séries temporais**. 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

BURNQUIST, H. L. ; BACCHI, M. R. P. A Demanda por gasolina no Brasil: uma análise utilizando técnicas de co-integração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 49., 2002, Passo Fundo, RS. **Anais...**, Passo Fundo, RS: EMBRAPA, 2002.

CAMURI, P. A. **Dívida pública, política fiscal e restrição externa no Brasil: 1994-2004**. Belo Horizonte: ESAF, 2005. X Prêmio Tesouro Nacional.

CERRI, Carlos Clemente; CERRI, Carlos Eduardo P. **Agricultura e aquecimento global**. São Paulo/SP: Embrapa, 2007. Disponível em: < [http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr\\_e\\_aquec\\_Cerri\\_2007.pdf](http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2012

COASE, R. H. The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, Chicago, v. 3, p. 1-44, out. 1960.

CONTADOR, C. R. **Projetos sociais: avaliação e prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997. 375 p.

CONTI, Jose Bueno. **O clima e o meio ambiente**. 11. ed. São Paulo: Atual, 2011.

DAVIDSON, Russell; MACKINNON, James G. **Econometric theory and methods**. New York: Oxford, 2004.

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Direito administrativo**. São Paulo: Atlas, 2003.

DORNELLES, Ricardo. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub> em projetos de produção e uso de biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2007.

FRONDIZI, Isaura (Coord.). **Mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação** 2009. Rio de Janeiro: FIDES, 2009. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/33803.html>. Acesso em: 02 dez. 2012.

FURIGO, Agenor. **Biodiesel: aspectos gerais e produção enzimática**. Florianópolis: UFSC 2009.

GALBIERI, Rodrigo; SIMÕES, André Felipe. Desafios para implementação de projetos de MDL no setor de transportes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 8., 2012, Curitiba. **Anais...** Itajubá – MG: SBPE, 2012.

GARTEN ROTHKOPF. **A blueprint for green energy in the Americas: strategic analysis of opportunities for Brazil and the hemisphere**. Washington: Inter-American Development Bank, 2007.

GIL, Rosa E. Reyes; GALVAN RICO, Luis E. ; AGUIAR SERRA, Mauricio. El precio de La contaminación como herramienta económica e instrumento de política ambiental. **INCI**,

Caracas, v. 30, n. 7, jul. 2005. Disponível em:

<[http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442005000700010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000700010&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 20 abr. 2013.

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 13 dez. 1968.

HEINE, Dirk; NORREGAARD, John; PARRY, Ian W.H. **Environmental tax reform: principles from theory and practice to date**. Washington - DC: International Monetary Fund, 2012. (Series IMF working paper, n. 12/180).

HODRICK, Robert J. ; PRESCOTT Edward. **Postwar U.S. business cycles: an empirical investigation**. Evanston: Northwestern University, 1980. (Discussion paper, n. 451).

Disponível em: <<http://www.kellogg.northwestern.edu/research/math/papers/451.pdf>>.

Acesso em: 18 nov. 2013.

ICE EUA FUTURES. **Emissions morning marker**. London: ICE, 2013. Disponível em:

<<https://www.theice.com/marketdata/reports/ReportCenter.shtml#report/87>>. Acesso em: 14 set. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2013 - the physical science basis**. New York: Cambridge University Press, 2013. Disponível em:

<[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf)>.

Acesso em: 3 dez. 2013.

LEIRAS, Adriana. **A cadeia produtiva do biodiesel: uma avaliação econômica para o caso da Bahia**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2006.

LÜTKEPOHL, H. ; KRÄTZIG, M. **Applied time series econometrics**. Cambridge:

Cambridge University Press, 2004. Disponível em:

<[http://books.google.com.br/books?id=xe7NDY8leWwC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?id=xe7NDY8leWwC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 14 set. 2013.

MAFRA, Josue C. C. O instituto da deslegalização e sua relação com o princípio da eficiência na função normativa das agências reguladoras. 2009. 95 f. Monografia (Graduação em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em:

<<http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/33795-44169-1-PB.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2013.

MAIA, Érvio Francisco; TEIXEIRA, Leila; ROCHA, Natália. **A substituição da matriz energética e o princípio do desenvolvimento sustentável**. Belo Horizonte: Escola Superior Dom Helder Câmara, 2008. Disponível em:

<<http://www.domtotal.com/direito/uploads/1942.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2012.

MATHIAS, Washington; GOMES, José Maria. **Matemática financeira**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MATTOS, Laura B. R. de. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa** - o caso do município do Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MAZIERO, José V. G. ; CORRÊA, Ila Maria; TRIELLI, Maurício Assumpção; BERNARDI, José Augusto; D'AGOSTINI, Marcos F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.4, 287-292, out./dez. 2006

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. **Curso de direito administrativo**. 25 ed. São Paulo: Malheiros, 2007

MENDONÇA, Francisco. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Terra Livre**, São Paulo, v. 19, n. 20, jan./jul. 2003. Disponível em: <<http://cursodeextensao.com/artigos/Aquecimento%20global%20e%20sa%C3%BAde.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2012.

MEIRELLES, Fábio de Sales. **Biodiesel**. Brasília: [S.n.], 2003

MOREIRA NETO, Diogo de Figueiredo. **Direito regulatório**. Rio de Janeiro: Renovar, 2003.

NAPPO, Márcio. **A demanda por gasolina no Brasil: uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicombustível**. São Paulo: FGV-EESP, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Health financing: health expenditure ratios by country**. Genebra, 2013. Disponível em: <<http://apps.who.int/gho/data/node.main.75?lang=en>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Perspectivas ambientais da OCDE para 2030**. Paris: OCDE, 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/40220494.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

OSTROM, Elinor. Common-pool resources. **Ambiente & Sociedade**, n. 10, 1º sem. 2002.

PERERA, Luiz Carlos Jacob. **Créditos de carbono sob a perspectiva de derivativos financeiros**. In: SEMANA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009.

PIGOU, Arthur C. **The economics of welfare**. London: Macmillan and Co, 1920.

PINDYCK, Robert S. ; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 647 p.

PORTO, Natália Addas; CORREIA, Paulo de Barros. Desenvolvimento dos mercados de créditos de carbono. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 8., 2012, Curitiba. **Anais...** Itajubá – MG: SBPE, 2012.

RAO, B. Bhaskara; RAO, Gyaneshwar. Cointegration and the demand for gasoline. **Munich Personal RePEc Archive**, Munich, nov. 2008. (MPRA paper, n. 11396). Disponível em: <<http://mpra.ub.uni-muenchen.de/11396/>>. Acesso em: 20 abr. 2013

RAMOS *et al.* Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 31, jul./dez. 2003. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/textos/Biodiesel.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

ROCHA, Marcelo Theoto. **Aquecimento global e o mercado de carbono**: uma aplicação do modelo Cert . Tese (Doutorado em Economia aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

ROCHAEL, Carlos Henrique Reis. As agências de regulação brasileiras. **Jus Navigandi**, Teresina, v. 10, n. 697, jun. 2005. Disponível em: <<http://jus.com.br/revista/texto/6822>>. Acesso em: 6 maio 2013.

ROVERE, E. Lèbre La; ROSA L. Pinguelli ; RODRIGUES, A. Pires (Orgs.). **Economia e tecnologia da energia**. Rio de Janeiro: Marco Zero; FINEP, 1985. 588 p.

SÁ OLIVEIRA, Laura Sampaio de; TIRYAKI, Gisele Ferreira; SANTOS, Gervásio Ferreira dos. Biodiesel e etanol: impactos na emissão de CO<sub>2</sub>. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 8. , 2012, Curitiba, PR. **Anais...** Itajubá – MG: SBPE, 2012.

SAMOHYL, R. W. ; DANTAS, A. B.. Previsão com Cointegração e modelo de correção a erro: aplicação empírica no consumo de gasolina do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998. Niterói, RJ. **Anais...** , Niterói, RJ: ABEPRO, 1998.

SANTOS, Ubiratan de Paula. Poluição, aquecimento global e repercussões na saúde. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 53, n. 3, maio/jun. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-42302007000300004&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302007000300004&lang=pt)>. Acesso em: 10 set. 2013.

SEREGI, J. ; LELOVICS, Z. ; BALOGH, L. The social welfare function of forests in the light of the theory of public goods. **Bamberg**, oct. 2012. (BERG working paper series, n. 87). Disponível em: <[http://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/sowi\\_faecher/vwl/BERG/BERG87\\_Laszlo.pdf](http://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/sowi_faecher/vwl/BERG/BERG87_Laszlo.pdf)> . Acesso em: 10 nov. 2013.

SMITH, Adam. **A riqueza das nações**: investigação sobre sua natureza e suas causas. São Paulo: Abril Cultural, Nova Cultural, 1983. 2 v.

SOARES, Wagner Lopes; PORTO, Marcelo Firpo. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 131-143, 2007.

SOUZA, Daniele Zago. Diagnóstico diferencial das mortes por asfixia. **Saúde, Ética & Justiça**, [S.l.], v. 10, n. 1/2, nov. 2012 . Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/sej/article/view/43501/47123>>. Acesso em: 01 mar. 2014.

TAXA de CO<sub>2</sub> para aéreas na UE pode romper negociação do clima. **Globo Natureza**, São Paulo, 11/ abr. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/04/taxa-de-co2-para-aereas-na-ue-pode-romper-negociacao-do-clima-diz-india.html>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **CDM Insights - intelligence about the CDM at the end of each month**. dez. 2013. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/index.html/>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

VARIAN, Hal R. **Microeconomic analysis**. 3rd.ed. New York, London: Norton, 1992.

\_\_\_\_\_. **Microeconomia: princípios básicos: uma abordagem moderna**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

VISCUSI, W. K. ; VERNON, J. M. ; HARRINGTON, J. R. **Economics of regulation and antitrust**. Cambridge: MIT Press, 2000.

VITIELLO, Marcio Abondanza. Debate acalorado. **Revista Geografia**, Escala. 45. 2012.

WEBER, Max. **A ética protestante e o "espírito" do capitalismo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

WEYDMANN, Celso Leonardo. Externalidades e mudanças da regulamentação ambiental para a suinocultura norte-americana: é possível no caso brasileiro? **RER**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 287-305, abr. /jun. 2005.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Climate analysis indicators tool**. Washington - DC: World Resources Institute, 2012.

ZIVOT, Eric; WANG, Jiahui. **Modeling financial time series with S-PLUS®**. New York: Springer Science+business Media, 2005. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=Mby9u8\\_WXXgC&printsec=frontcover&dq=Modeling+Financial+Time+Series+with+S-PLUS%C2%AE&hl=pt-BR&sa=X&ei=Omd2Uv6iLYj4kQeE14DgAQ&ved=0CDoQ6AEwAA#v=onepage&q=Modeling%20Financial%20Time%20Series%20with%20S-PLUS%C2%AE&f=false](http://books.google.com.br/books?id=Mby9u8_WXXgC&printsec=frontcover&dq=Modeling+Financial+Time+Series+with+S-PLUS%C2%AE&hl=pt-BR&sa=X&ei=Omd2Uv6iLYj4kQeE14DgAQ&ved=0CDoQ6AEwAA#v=onepage&q=Modeling%20Financial%20Time%20Series%20with%20S-PLUS%C2%AE&f=false)>. Acesso em: 14 set.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A - Critério de seleção ordem de defasagem VAR

Variáveis Endógenas: LCONS-LCONS(-1) LPRECO LRENDA

Variáveis Exógenas: C D\_1 D\_2 D\_3 D\_4 D\_5 D\_6 D\_7 D\_8 D\_9 D\_10 D\_11

Observações incluídas: 125

Defasagem	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	493.2056	NA	1.34e-07	-7.315289	-6.500735	-6.984378
1	885.3030	690.0916	2.92e-10	-13.44485	-12.42666	-13.03121
2	927.7462	72.66275	1.71e-10	-13.97994	<b>-12.75811*</b>	<b>-13.48357*</b>
3	938.1753	17.35390	1.68e-10	-14.00280	-12.57733	-13.42371
4	948.9060	17.34089	<b>1.64e-10*</b>	<b>-14.03050*</b>	-12.40139	-13.36868
5	954.4401	8.677406	1.75e-10	-13.97504	-12.14229	-13.23049
6	960.9048	9.826372	1.83e-10	-13.93448	-11.89809	-13.10720
7	967.5934	9.845628	1.92e-10	-13.89749	-11.65747	-12.98749
8	984.8235	<b>24.53563*</b>	1.70e-10	-14.02918	-11.58551	-13.03644
9	990.7731	8.186681	1.82e-10	-13.98037	-11.33307	-12.90491
10	999.5790	11.69429	1.85e-10	-13.97726	-11.12632	-12.81908
11	1005.413	7.467884	1.99e-10	-13.92661	-10.87203	-12.68570
12	1012.264	8.439432	2.11e-10	-13.89222	-10.63400	-12.56857

\* indica a defasagem selecionada pelo critério

LR: teste estatístico LR sequencial modificado (nível de significância 5%)

FPE: Erro Final de previsão

AIC: Critério de informação Akaike

SC: Critério de informação Schwarz

HQ: critério de informação Hannan-Quinn

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013



## APÊNDICE B - Teste de Portmeanteau para VAR com K=2

VAR Residual Portmanteau testes para autocorrelação

Hipótese Nula: ausência de autocorrelação residual na defasagem h

Amostra: 2001M07 2012M12

Observações Incluídas: 135

Defasagens	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	Df
1	4.304515	NA*	4.336638	NA*	NA*
2	17.84077	NA*	18.07645	NA*	NA*
3	31.71932	0.0109	32.27042	0.0092	16
4	39.81561	0.0305	40.61392	0.0252	25
5	48.62245	0.0498	49.75949	0.0396	34
6	59.83068	0.0454	61.48903	0.0334	43
7	73.75511	0.0253	76.17496	0.0161	52
8	85.86918	0.0196	89.05211	0.0111	61
9	96.25182	0.0205	100.1764	0.0105	70
10	116.8404	0.0037	122.4120	0.0013	79
11	121.0444	0.0112	126.9889	0.0041	88
12	132.6670	0.0095	139.7455	0.0029	97

\*O teste só é válido para defasagens maiores que a ordem da defasagem VAR.

df é o grau de liberdade para (aproximadamente) distribuição qui-quadrado

\*df e Prob podem não ser válidos para modelos com variáveis exógenas.

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

## APÊNDICE C - Teste de Portmeanteau para VAR com K=4

VAR Residual teste Portmanteau para autocorrelação

Hipótese Nula: ausência de autocorrelação residual na defasagem h

Amostra: 2001M07 2012M12

Observações Incluídas: 133

Defasagens	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	Df
1	0.401877	NA*	0.404921	NA*	NA*
2	0.860732	NA*	0.870782	NA*	NA*
3	3.766827	NA*	3.843941	NA*	NA*
4	10.98593	NA*	11.28689	NA*	NA*
5	17.00007	0.3856	17.53596	0.3518	16
6	28.36893	0.2912	29.44193	0.2459	25
7	43.90536	0.1190	45.84149	0.0845	34
8	55.73396	0.0922	58.42713	0.0584	43
9	61.10924	0.1813	64.19255	0.1195	52
10	79.99548	0.0519	84.61425	0.0244	61
11	85.34246	0.1024	90.44334	0.0506	70
12	92.46370	0.1428	98.27082	0.0700	79

\* O teste só é valido para defasagens maiores que a ordem da defasagem VAR.

df é o grau de liberdade para (aproximadamente) distribuição qui-quadrado

\*df e Prob. podem não ser válidos para modelos com variáveis exógenas

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

## APÊNDICE D - Ordenamento das Variáveis

VAR Causalidade Granger/Teste Wald de exogeneidade em conjunto  
 Observações Incluídas: 133

---



---

Variável dependente: LCONS-LCONS(-1)

Excluída	Qui-quadrado	Df	Prob.
LPRECO	13.66608	4	0.0084
LREND	17.44424	4	0.0016
Todas	31.98835	8	0.0001

Variável dependente: LPRECO

Excluída	Qui-quadrado	Df	Prob.
LCONS- LCONS(-1)	5.245698	4	0.2630
LREND	2.671603	4	0.6142
Todas	8.607523	8	0.3765

Variável dependente: LREND

Excluída	Qui-quadrado	Df	Prob.
LCONS- LCONS(-1)	4.364289	4	0.3589
LPRECO	5.267579	4	0.2609
Todas	9.962310	8	0.2677

---



---

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

## APÊNDICE E - Vetor de Correção de Erros e os Coeficientes de Ajustamento (continua)

Vetor de Correção de Erro Estimado

Amostra (ajustada): 2001M12 2012M12

Observações Incluídas: 133 após ajustes

Desvio padrão em ( ) e estatística-t em [ ]

Equação Cointegração	Coint.Eq1		
LPRECO(-1)	1.000000		
LREND(-1)	1.008816 (9.48128) [ 0.10640]		
LCONS(-1)-LCONS(-2)	272.7938 (31.0029) [ 8.79897]		
@TENDÊNCIA(01M07)	-0.013101 (0.02148) [-0.60981]		
C	-1.163.846		
Correção Erro	D(LPRECO)	D(LREND)	D(LCONS- LCONS(-1))
CointEq1	0.002000 (0.00090) [ 2.21280]	-0.000235 (0.00077) [-0.30439]	-0.010782 (0.00133) [-8.09093]
D(LPRECO(-1))	0.378851 (0.09646) [ 3.92736]	-0.103767 (0.08238) [-1.25968]	-0.116541 (0.14219) [-0.81964]
D(LPRECO(-2))	0.095732 (0.10145) [ 0.94363]	-0.052894 (0.08663) [-0.61054]	-0.358121 (0.14954) [-2.39488]

## Vetor de Correção de Erros e os Coeficientes de Ajustamento (continuação)

Correção Erro	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
D(LPRECO(-3))	-0.056444 (0.09675) [-0.58339]	-0.031652 (0.08262) [-0.38310]	-0.080474 (0.14261) [-0.56430]
D(LREND A(-1))	0.001185 (0.12523) [ 0.00946]	-0.179805 (0.10694) [-1.68131]	-0.037454 (0.18459) [-0.20291]
D(LREND A(-2))	-0.051504 (0.12383) [-0.41592]	-0.238042 (0.10575) [-2.25106]	-0.108721 (0.18253) [-0.59565]
D(LREND A(-3))	-0.036873 (0.12092) [-0.30495]	0.216278 (0.10326) [ 2.09459]	0.677749 (0.17823) [ 3.80277]
D(LCONS(-1)-LCONS(-2))	-0.404426 (0.20529) [-1.97005]	0.001648 (0.17530) [ 0.00940]	1.076075 (0.30259) [ 3.55626]
D(LCONS(-2)-LCONS(-3))	-0.249660 (0.13448) [-1.85646]	0.029384 (0.11484) [ 0.25587]	0.430349 (0.19822) [ 2.17104]
D(LCONS(-3)-LCONS(-4))	-0.058983 (0.06126) [-0.96276]	0.025088 (0.05232) [ 0.47954]	0.120539 (0.09030) [ 1.33485]
C	0.010645 (0.00930) [ 1.14398]	-0.006901 (0.00795) [-0.86853]	-0.076654 (0.01372) [-5.58899]
D_1	0.001860 (0.01305) [ 0.14257]	-0.057900 (0.01114) [-5.19685]	-0.118408 (0.01923) [-6.15728]
D_2	0.015022	-0.051935	-0.055269

(0.01645)      (0.01405)      (0.02425)  
 [-0.91305]    [-3.69642]    [-2.27903]  
 Vetor de Correção de Erros e os Coeficientes de Ajustamento (continuação)

Correção Erro	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
D_3	0.012321 (0.01965) [ 0.62688]	0.038716 (0.01678) [ 2.30671]	0.153949 (0.02897) [ 5.31400]
D_4	-0.014321 (0.01801) [-0.79501]	0.029243 (0.01538) [ 1.90108]	0.148816 (0.02655) [ 5.60498]
D_5	-0.016285 (0.01361) [-1.19618]	0.061553 (0.01163) [ 5.29452]	0.172931 (0.02007) [ 8.61778]
D_6	-0.035664 (0.01467) [-2.43056]	0.018077 (0.01253) [ 1.44269]	0.079945 (0.02163) [ 3.69641]
D_7	-0.004849 (0.01144) [-0.42381]	0.009099 (0.00977) [ 0.93138]	0.135361 (0.01686) [ 8.02703]
D_8	-0.018374 (0.01509) [-1.21730]	0.011474 (0.01289) [ 0.89017]	0.125102 (0.02225) [ 5.62307]
D_9	-0.022781 (0.01436) [-1.58597]	-0.015568 (0.01227) [-1.26920]	0.114633 (0.02117) [ 5.41440]
D_10	-0.021789 (0.01368) [-1.59264]	0.050085 (0.01168) [ 4.28711]	0.143567 (0.02017) [ 7.11953]
D_11	-0.014799 (0.01295) [-1.14314]	0.021113 (0.01106) [ 1.90982]	0.031786 (0.01908) [ 1.66575]

R-quadrado	0.235709	0.794625	0.943519
Adj. R-quadrado	0.091113	0.755770	0.932833

Vetor de Correção de Erros e os Coeficientes de Ajustamento (conclusão)

---

	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
Soma dos quadrados dos resíduos	0.050093	0.036529	0.108831
Equação S.E.	0.021244	0.018141	0.031312
Estatística-F	1.630125	20.45116	88.29756
Probabilidade Log	335.5821	356.5806	283.9836
Akaike AIC	-4.715.520	-5.031.287	-3.939.603
Schwarz SC	-4.237.417	-4.553.184	-3.461.501
Média dependente	0.001272	0.001656	-0.000355
S.D. dependente	0.022283	0.036708	0.120819
Determinante covariância residual	1.13E-10		
Determinante covariância residual	6.56E-11		
Probabilidade Log	993.0981		
Critério de informação Akaike	-1.388.117		
Critério Schwarz	-1.235.994		

---

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

## APÊNDICE F - Teste de Portmanteau para Autocorrelação dos Resíduos

Hipótese Nula: ausência de autocorrelação residual na defasagem h

Amostra: 2001M07 2012M12

Observações Incluídas: 133

Defasagens	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0.256926	NA*	0.258872	NA*	NA*
2	0.679621	NA*	0.688020	NA*	NA*
3	3.430697	NA*	3.502583	NA*	NA*
4	10.23685	0.8540	10.51978	0.8381	16
5	17.18237	0.8751	17.73661	0.8534	25
6	29.33825	0.6955	30.46678	0.6415	34
7	50.29397	0.2070	52.58671	0.1500	43
8	59.40182	0.2240	62.27746	0.1556	52
9	64.42519	0.3577	67.66543	0.2602	61
10	80.40599	0.1854	84.94549	0.1078	70
11	84.86837	0.3055	89.81021	0.1905	79
12	93.52954	0.3233	99.33033	0.1922	88

\*O teste só é válido para defasagens maiores que a ordem da defasagem VAR.

df é o grau de liberdade para (aproximadamente) distribuição qui-quadrado

\*df e Prob. podem não ser válidos para modelos com variáveis exógenas

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013



## APÊNDICES G - Teste LM para Autocorrelação dos Resíduos

Hipótese Nula: ausência de autocorrelação  
residual na defasagem h

Amostra: 2001M07 2012M12

Observações Incluídas: 133

---



---

Defasagens	LM-Stat	Prob
1	7.055255	0.6314
2	2.811207	0.9713
3	9.677521	0.3772
4	7.557232	0.5793
5	7.156276	0.6209
6	12.22033	0.2012
7	21.65130	0.0101
8	9.037399	0.4338
9	5.067091	0.8284
10	15.40667	0.0804
11	4.341756	0.8875
12	8.234190	0.5107

---



---

Probabilidades para qui-quadrado com 9 df.

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

## APÊNDICE H - Resultado do VEC após utilização do Filtro HP (continua)

Vetor de Correção de Erro Estimado  
 Amostra (ajustada): 2001M12 2012M12  
 Observações Incluídas: 133 após ajustes  
 Desvio padrão em ( ) e estatística-t em [ ]

Equação Cointegração:		CointEq1		
LPRECO(-1)		1.000000		
LREND(-1)		4.881277 (4.75260) [ 1.02708]		
LCONS(-1)-LCONS(-2)		120.8142 (13.6950) [ 8.82177]		
@TENDÊNCIA(01M07)		-0.009951 (0.00949) [-1.04861]		
C		-56.59811		
Correção Erro:		D(LCONS- LCONS(-1))		
CointEq1	D(LPRECO)	D(LREND(-1))	D(LCONS- LCONS(-1))	
	0.004827 (0.00202) [ 2.39509]	-0.001106 (0.00174) [-0.63429]	-0.024763 (0.00298) [-8.30774]	
D(LPRECO(-1))	0.349476 (0.09643) [ 3.62410]	-0.106644 (0.08343) [-1.27825]	-0.081872 (0.14263) [-0.57404]	
D(LPRECO(-2))	0.079362 (0.10052) [ 0.78950]	-0.058683 (0.08697) [-0.67475]	-0.341534 (0.14868) [-2.29717]	
D(LPRECO(-3))	-0.083668 (0.09630) [-0.86881]	-0.041404 (0.08332) [-0.49693]	-0.056704 (0.14244) [-0.39810]	
D(LREND(-1))	-0.018447 (0.12561) [-0.14686]	-0.165300 (0.10868) [-1.52105]	0.030295 (0.18578) [ 0.16307]	

## Resultado do VEC após utilização do Filtro HP (continuação)

Correção Erro:	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
D(LREND A(-2))	-0.067332 (0.12332) [-0.54597]	-0.228757 (0.10670) [-2.14399]	-0.063507 (0.18240) [-0.34817]
D(LREND A(-3))	-0.042232 (0.11984) [-0.35239]	0.221666 (0.10368) [ 2.13788]	0.701798 (0.17725) [ 3.95932]
D(LCONS(-1)- LCONS(-2))	-0.439053 (0.20315) [-2.16127]	0.057206 (0.17576) [ 0.32549]	1.121804 (0.30046) [ 3.73362]
D(LCONS(-2)- LCONS(-3))	-0.272901 (0.13322) [-2.04845]	0.062428 (0.11526) [ 0.54162]	0.459284 (0.19704) [ 2.33090]
D(LCONS(-3)- LCONS(-4))	-0.070531 (0.06081) [-1.15976]	0.035975 (0.05262) [ 0.68373]	0.131847 (0.08995) [ 1.46583]
C	0.015461 (0.00955) [ 1.61905]	-0.006745 (0.00826) [-0.81643]	-0.080622 (0.01412) [-5.70818]
D_1	0.002656 (0.01293) [ 0.20538]	-0.059308 (0.01119) [-5.30124]	-0.120311 (0.01913) [-6.29062]
D_2	0.016138 (0.01638) [ 0.98510]	-0.054443 (0.01417) [-3.84125]	-0.059740 (0.02423) [-2.46562]
D_3	0.014680 (0.01967) [ 0.74618]	0.035970 (0.01702) [ 2.11320]	0.145623 (0.02910) [ 5.00445]
D_4	-0.012711 (0.01783) [-0.71290]	0.028985 (0.01543) [ 1.87892]	0.141860 (0.02637) [ 5.37923]

D\_5                    -0.015948        0.063052        0.167669  
                           (0.01322)        (0.01144)        (0.01956)  
 Resultado do VEC após utilização do Filtro HP (continuação)

Correção Erro:	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
	[-1.20618]	[ 5.51177]	[ 8.57366]
D_6	-0.036043 (0.01433) [-2.51590]	0.019927 (0.01239) [ 1.60772]	0.076891 (0.02119) [ 3.62881]
D_7	-0.005846 (0.01127) [-0.51871]	0.009968 (0.00975) [ 1.02221]	0.134093 (0.01667) [ 8.04375]
D_8	-0.018057 (0.01489) [-1.21237]	0.012237 (0.01289) [ 0.94963]	0.123205 (0.02203) [ 5.59287]
D_9	-0.024051 (0.01417) [-1.69674]	-0.013530 (0.01226) [-1.10323]	0.115468 (0.02097) [ 5.50759]
D_10	-0.022810 (0.01345) [-1.69548]	0.052192 (0.01164) [ 4.48410]	0.143577 (0.01990) [ 7.21577]
D_11	-0.016000 (0.01281) [-1.24903]	0.022532 (0.01108) [ 2.03313]	0.032940 (0.01895) [ 1.73862]
DRT	-0.008698 (0.00397) [-2.19269]	-0.000840 (0.00343) [-0.24474]	0.011250 (0.00587) [ 1.91754]
R-quadrado	0.258695	0.795530	0.944840
R- quadrado ajustado	0.110433	0.754636	0.933808
Soma dos quadrados dos resíduos	0.048586	0.036368	0.106286
S.E. equação	0.021017	0.018183	0.031084
Estatística-F	1.744858	19.45343	85.64486
Probabilidade Log	337.6127	356.8742	285.5575
Akaike AIC	-4.731018	-5.020664	-3.948233
Schwarz SC	-4.231183	-4.520830	-3.448398
Média dependente	0.001272	0.001656	-0.000355
S.D. dependente	0.022283	0.036708	0.120819
<hr/>			
Determinante covariância do resíduos	1.12E-10		

(dof adj.)

Determinante covariância dos resíduos 6.34E-11

Resultado do VEC após utilização do Filtro HP (conclusão)

Probabilidade Log	995.3513
Critério de informação Akaike	-13.86994
Critério Schwarz	-12.28351

---

---

Fonte:Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013

APÊNDICE I - Resultado do VEC após Teste de Quebra de Lütkepohl e Saikkonen (2001)  
(continua)

Vetor Correção de Erros Estimado

Amostra (ajustadas): 2001M12 2012M12

Observações incluídas: 133 após ajustes

Desvio padrão em ( ) e estatística-t em [ ]

Equação Cointegração:	CointEq1
LPRECO(-1)	1.000000
LREND A(-1)	-1.517390 (4.39144) [-0.34553]
LCONS(-1)-LCONS(-2)	107.0835 (12.0786) [ 8.86556]
@TENDÊNCIA(01M07)	0.000352 (0.01064) [ 0.03310]
C	17.32612

Correção Erro:	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
CointEq1	0.004665 (0.00237) [ 1.96717]	-0.000212 (0.00201) [-0.10539]	-0.027847 (0.00350) [-7.96059]
D(LPRECO(-1))	0.378563 (0.09711) [ 3.89825]	-0.107166 (0.08251) [-1.29875]	-0.137975 (0.14325) [-0.96317]
D(LPRECO(-2))	0.085993 (0.10234) [ 0.84027]	-0.057006 (0.08696) [-0.65556]	-0.365307 (0.15096) [-2.41981]
D(LPRECO(-3))	-0.074210 (0.09826) [-0.75527]	-0.039547 (0.08349) [-0.47369]	-0.089735 (0.14494) [-0.61912]
D(LREND A(-1))	0.005037 (0.12600) [ 0.03998]	-0.195796 (0.10706) [-1.82885]	-0.070696 (0.18586) [-0.38036]
D(LREND A(-2))	-0.059169	-0.257062	-0.133406

Resultado do VEC após Teste de Quebra de Lütkepohl e Saikkonen (2001)  
(continuação)

Correção Erro:	D(LPRECO)	D(LREND A)	D(LCONS- LCONS(-1))
	[-0.47028]	[-2.40460]	[-0.71881]
D(LREND A(-3))	-0.046908 (0.12265) [-0.38245]	0.201549 (0.10422) [ 1.93395]	0.662668 (0.18093) [ 3.66261]
D(LCONS(-1)-LCONS(- 2))	-0.368700 (0.21105) [-1.74700]	-0.033284 (0.17933) [-0.18561]	1.105974 (0.31132) [ 3.55249]
D(LCONS(-2)-LCONS(- 3))	-0.229370 (0.13786) [-1.66376]	0.007316 (0.11714) [ 0.06245]	0.447310 (0.20336) [ 2.19954]
D(LCONS(-3)-LCONS(- 4))	-0.052351 (0.06233) [-0.83993]	0.017002 (0.05296) [ 0.32103]	0.125831 (0.09194) [ 1.36859]
C	0.018814 (0.01195) [ 1.57441]	-0.001206 (0.01015) [-0.11876]	-0.084838 (0.01763) [-4.81280]
D_1	0.000997 (0.01316) [ 0.07577]	-0.057045 (0.01118) [-5.10103]	-0.118973 (0.01941) [-6.12795]
D_2	0.012152 (0.01661) [ 0.73143]	-0.051616 (0.01412) [-3.65634]	-0.056352 (0.02451) [-2.29932]
D_3	0.008356 (0.01980) [ 0.42192]	0.038573 (0.01683) [ 2.29232]	0.154240 (0.02921) [ 5.27984]
D_4	-0.016011 (0.01816) [-0.88170]	0.028363 (0.01543) [ 1.83815]	0.151853 (0.02679) [ 5.66876]
D_5	-0.015974	0.060278	0.177369

(0.01392)      (0.01183)      (0.02054)  
 [-1.14722]    [ 5.09485]    [ 8.63545]

Resultado do VEC após Teste de Quebra de Lütkepohl e Saikkonen (2001)  
 (continuação)

Correção Erro:	D(LPRECO)	D(LRENDA)	D(LCONS- LCONS(-1))
D_6	-0.034240 (0.01497) [-2.28726]	0.017302 (0.01272) [ 1.36020]	0.084386 (0.02208) [ 3.82138]
D_7	-0.004077 (0.01159) [-0.35183]	0.008680 (0.00985) [ 0.88162]	0.137740 (0.01709) [ 8.05889]
D_8	-0.017794 (0.01523) [-1.16872]	0.011271 (0.01294) [ 0.87123]	0.127475 (0.02246) [ 5.67585]
D_9	-0.021927 (0.01461) [-1.50050]	-0.017136 (0.01242) [-1.38011]	0.116784 (0.02156) [ 5.41765]
D_10	-0.021250 (0.01399) [-1.51913]	0.048212 (0.01189) [ 4.05630]	0.145963 (0.02063) [ 7.07372]
D_11	-0.013535 (0.01308) [-1.03499]	0.020481 (0.01111) [ 1.84327]	0.033037 (0.01929) [ 1.71261]
DQS	-0.008482 (0.00717) [-1.18356]	-0.005496 (0.00609) [-0.90260]	0.007252 (0.01057) [ 0.68593]
R-quadrado	0.233629	0.796114	0.943275
R-quadrado ajustado	0.080355	0.755337	0.931931
Soma dos quadrados dos resíduos	0.050229	0.036264	0.109300
S.E. equação	0.021369	0.018157	0.031522
Estatística-F	1.524255	19.52352	83.14530
Probabilidade Log	335.4013	357.0645	283.6980
Akaike AIC	-4.697765	-5.023527	-3.920271
Schwarz SC	-4.197930	-4.523692	-3.420436
Média dependente	0.001272	0.001656	-0.000355
Desvio padrão dependente	0.022283	0.036708	0.120819



Determinante covarância do resíduo	1.14E-10
Determinante covarância do resíduo	6.45E-11
Log vizinhança	994.2517
Resultado do VEC após Teste de Quebra de Lütkepohl e Saikkonen (2001) (conclusão)	
<hr/>	
Critério de informação Akaike	-13.85341
Critério Schwarz	-12.26698
<hr/>	

Fonte: Elaboração própria, 2013 no *software* E-views, 2013