UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE - CAA
NÚCLEO DE GESTÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Michelle Guarnyara Tomé de Araújo

A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS RESTRITOS E NÃO RESTRITOS: IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E ANÁLISE EMPÍRICA DA ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

CARUARU
2015

MICHELLE GUARNYARA TOMÉ DE ARAÚJO

A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS RESTRITOS E NÃO RESTRITOS: IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E ANÁLISE EMPÍRICA DA ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação de Ciências Econômicas, Área das Ciências Sociais e Humanas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Diogo de Carvalho Bezerra

CARUARU, 2015

Catalogação na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

A663u Araújo, Michelle Guarnyara Tomé de.
A utilização de recursos energéticos restritos e não restritos: implicações econômicas e análise empírica da organização para cooperação e desenvolvimento econômico. / Michelle Guarnyara Tomé de Araújo. - Caruaru: O Autor, 2015.
55f. il. ; 30 cm.

Orientador: Diogo de Carvalho Bezerra.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Economia, 2015.
Inclui referências bibliográficas

1. Recursos energéticos. 2. Energia – Países da OCDE. 3. Desenvolvimento econômico. I. Bezerra, Diogo de Carvalho. (Orientador). II. Título

330 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2015-158)

MICHELLE GUARNYARA TOMÉ DE ARAÚJO

A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS RESTRITOS E NÃO RESTRITOS: IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E ANÁLISE EMPÍRICA DA ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Defesa em 27/07/2015.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Diogo de Carvalho Bezerra
(Orientador)

_____

Profª. Dra. Cynthia Xavier de Carvalho
(Avaliador)

_____

Prof. Ms. Thyago Celso Cavalcante Nepomuceno
(Avaliador)

AGRADECIMENTOS

A meu pai *(in memoriam)* pela sua dedicação, carinho e incentivo que me deu durante os anos que esteve presente em minha vida, onde em sua simplicidade e bondade sempre me proporcionou tudo de melhor que podia, fazendo sempre o que estava ao seu alcance.

A minha mãe que mesmo com as dificuldades existentes e os obstáculos encontrados manteve sua capacidade de acreditar e investir em mim. Agradeço o cuidado e a dedicação que me foram dados, além de em vários momentos a esperança para seguir em frente. Sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa e nas próximas caminhadas.

A meu irmão que sempre foi sinônimo de apoio, carinho, cuidado e força, obrigada por mesmo estando longe fisicamente sempre se fazer presente em minha vida. Agradeço por ter sido sempre um modelo a ser seguido, em todos os sentidos, sem ter você como exemplo eu nunca seria quem hoje sou.

Ao meu noivo que durante todos esses anos tem sido presente de forma especial e carinhosa me opiou em todos os momentos, chorando e rindo comigo muitas vezes durante todo esse percurso da faculdade e da minha vida. Obrigada por tudo que fez por mim durante esse tempo que estamos juntos, principalmente nos últimos meses de confecção deste trabalho.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada acadêmica, em especial a Vanieli Cristina, Pierre Hítalo e Isabela Oliveira, pelas alegrias, tristezas, dores e lamentos compartilhados, pessoas que inicialmente eram colegas de sala e no decorrer na caminhada se tornaram amigos que espero levar para a vida toda. Agradeço pela amizade, companheirismo, paciência e motivação durante esses anos.

Aos professores que tive durante meu processo de formação, que me proporcionaram conhecimento, não apenas teórico, mas também a manifestação do caráter e afetividade. Sem os quais não saberia nem ao menos ler as palavras que aqui constam. Em especial ao meu orientador pela sua paciência e atenção, sua colaboração foi essencial para existência desse trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

A todos que me ajudaram nessa extensa jornada.

RESUMO

No presente cenário de desenvolvimento mundial a preocupação em relação às fontes de energias a serem utilizadas por cada país tornou-se de suma importância, devido à relação existente entre o uso de energia e o progresso de cada país. Nesse sentido, faz-se necessário analisar qual o tipo de energia será alvo de investimento por parte de cada país. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar a eficiência, do ponto de vista econômico, da produção de energia proveniente das fontes não restritas e restritas nos países membros da OCDE e dos seus parceiros-chave, tendo como corte temporal os anos de 1973 a 2012. Para realização de tal análise é considerado o modelo de crescimento econômico ótimo apresentado em Oliveira (2010) que estabelece a existência de uma relação entre a produtividade marginal das energias restrita e não restrita, de forma que o que vai definir qual das duas é mais eficiente é a razão entre as produtividades marginais das energias não restrita e restrita multiplicado pelo inverso da função de ponderação da extração de recursos restritos. Por fim, é realizada a análise empírica deste resultado para os países alvos de estudo, onde se tem como resultado que é mais eficiente se utilizar energia proveniente de fontes não restritas na África do Sul, Alemanha, Áustria, Brasil, Canadá, Chile, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Grécia, Indonésia, Índia, Irlanda, Japão, México, Noruega, Portugal, Reino Unido e Suécia, enquanto mostrou-se mais eficiente a utilização de energia proveniente de fontes restritas no Peru, além da verificação de que no caso dos demais países para se tomar a decisão de em que tipo de energia se deve investir, é necessário se ter conhecimento do valor da função de ponderação de extração de recursos restritos.

Palavras-chave: Energia Restrita, Energia Não Restrita, OCDE.

ABSTRACT

In the present world development scenario the concern about energy sources to be used by each country has become of paramount importance due to the relationship between energy use and progress of each country. In this sense, it is necessary to analyze what type of energy investment will be targeted by each country. Thus, this study aims to analyze the efficiency, from an economic point of view, energy production from non-restricted sources and restricted in OECD countries and their key partners, with the temporal cut year 1973 to 2012. To carry out this analysis is considered the model of optimal economic growth presented in Oliveira (2010) establishing the existence of a relationship between the marginal productivity of restricted and unrestricted energies, so that what will define which of the two the more efficient is the ratio between the marginal productivity of the unrestricted and restricted energy multiplied by the inverse weighting function restricted resource extraction. Finally, we performed empirical analysis of this result for the target countries of study, where it has the result that it is more efficient to use energy from not restricted sources in South Africa, Germany, Austria, Brazil, Canada, Chile, Denmark , Spain, Finland, Greece, Indonesia, India, Ireland, Japan, Mexico, Norway, Portugal, Sweden and the UK, as was more efficient use of energy from sources restricted in Peru, as well as verification that the case the other countries to make the decision on what type of energy is to invest, you need to be aware of the value of the restricted resource extraction weighting function.

Keywords: Restricted Energy, Not Restricted, OECD.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Abastecimento mundial de energia primária total de 1971 a 2012 por combustível (MTEP) 255

Gráfico 2: Fornecimento de energia primária total em 1973 e 2012 por combustível (MTEP) . 26

Gráfico 3: Total de produção de energias não restrita de 1973 a 2012 (MTEP) 266

Gráfico 4: Oferta primária total mundial de energia de 1971 a 2012 por região (MTEP) 28

Gráfico 5: Oferta primária total mundial de energia em 1973 e 2012 por região (MTEP) 28

Gráfico 6: Fornecimento de energia primária total em 1973 e 2013 por combustível na OCDE (MTEP). 31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de petróleo bruto em 1973 (MTEP) 19

Figura 2 - Produção do petróleo bruto em 2012 (Mtep) 19

Figura 3 - As emissões de CO_2 provenientes da combustão de combustíveis em 2012 (Mt CO_2) 21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise da Regressão do Modelo 46

Tabela 2: Parâmetros de Controle 51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1 Objetivos 15
1.1.1 Objetivo Geral 15
1.1.2 Objetivos Específicos 15
1.2 Justificativa 15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 17
2.1 Energia e Escassez de Recursos 17
2.2 A Energia e o Meio Ambiente 20
2.3 Substituição de Fontes de Energia 222
2.4 Modelos Matemáticos Propostos Para o Problema de Escassez de Recursos 23
2.5 Matriz Energética Mundial 244
2.6 Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico 29
2.6.1 Aspectos energéticos e a OCDE 30
2.6.2 Agência Internacional de Energia 311
2.7 Modelo de Oliveira 322
2.7.1 Identidade da renda 333
2.7.2 Identidade de investimento 333
2.7.3 Tecnologias de produção 344
2.7.4 Dinâmica do consumo das reservas 355
2.7.5 Dinâmica do crescimento da força de trabalho 355
2.7.6 Balanço energético 366
2.7.7 Função-objetivo 366
2.7.8 Problema 377
3 METODOLIGIA 400
3.1 Método de Análise e Coleta de Dados 400
3.2 Mínimos Quadrados Ordinários 411
3.3 Dados de painel 422
3.4 Variáveis Dummy 444
4 RESULTADOS 466
5 CONCLUSÕES 533
REFERÊNCIAS 54

1 INTRODUÇÃO

Os recursos provenientes da natureza sempre foram essenciais à vida humana, utilizados pelo homem com diversos intuitos, dentre eles a obtenção de energia. Inúmeras são as fontes de energia disponíveis no nosso planeta, entretanto a utilização destas até hoje não é igualitária.

As fontes de energia são de fundamental importância, através do seu uso e da evolução tecnológica, foram gerados aperfeiçoamentos de processos que possibilitaram uma elevação da produtividade econômica e também do bem-estar da população.

Com o crescimento do processo industrial e o consequente processo de urbanização o mundo passou a necessitar de cada vez mais energia, fazendo com que a utilização das fontes energéticas tivesse um extraordinário aumento. A dependência dos recursos energéticos engloba desde questões básicas quanto produtivas, como para o funcionamento das máquinas industriais e agrícolas.

Devido à relação existente entre o consumo energético e qualidade de vida a questão energética possui hoje grande importância no debate mundial. A melhoria do padrão de vida proporcionou um crescimento da demanda energética mundial, causando preocupações nos aspectos políticos, de planejamento energético e de questões ambientais (GOLDEMBER & VILLANUEVA, 2003).

Diferentes fontes energéticas veem sendo exploradas atualmente, as quais podem ser segmentadas em dois tipos, as fontes energéticas não restritas (renováveis) e as restritas (não renováveis).

As energias não restritas são aquelas obtidas a partir de recursos naturais que não se esgotam com o uso, ou seja, que possuem a capacidade de regeneração. Podemos citar como exemplo a energia eólica (dos ventos), a energia solar, a energia hidráulica (dos rios), a energia geotérmica (calor proveniente do interior da Terra), a energia biomassa (dos materiais orgânicos) e a energia maremotriz (das ondas).

As energias restritas são produzidas através de recursos que não podem ser repostos nem pelo homem nem pela natureza, esgotando-se à medida que são explorados, ou seja, encontram-se na natureza em quantidade limitada e se extinguem. Podemos citar como exemplo os combustíveis nucleares (sendo o urânio o principal utilizado), petróleo bruto, gás natural e carvão mineral.

Cada país possui a sua matriz energética, que consiste no balanço dos tipos de energia que a nação produz e consome, para a construção dessa matriz leva-se em consideração a distribuição geográfica das fontes, a estrutura econômica de cada país e seus interesses. Essa matriz tem por finalidade auxiliar o funcionamento das atividades de rendimento energético e posicionamento econômico do país.

Segundo dados da *International Energy Agency* (IEA) (2014a) no atual contexto mundial, a principal forma pela qual se obtém energia é a proveniente de fontes restritas, com uma participação em torno de 87,5% do total de energia ofertada no mundo.

Apesar da intensa utilização, a maioria das fontes restritas tem como desvantagem em relação às fontes não restritas, o fato de poderem causar prejuízos ao meio ambiente e ao homem, pois ocasionam no ato da geração de energia emissão de gases poluentes, como também podem produzir resíduos tóxicos.

Na atual realidade mundial a demanda energética da cada nação está estreitamente ligada ao seu desenvolvimento, devido à utilização da energia como insumo na produção de diversos produtos. Deste modo a disponibilização de recursos, sua transformação e o consumo energético é alvo de constante análise.

Os países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) formam um conjunto dos principais consumidores mundiais de energia, apesar de sua participação no total mundial ter sofrido um recuo ao longo do tempo. Os membros da OCDE podem ser caracterizados por uma economia relativamente estável, em que não há espaço para aumentos acentuados na produção industrial ou no consumo de bens que pressionam a absorção de energia. A disparidade existente entre os países pode ser explicada pela desigualdade existente em relação à estrutura econômica e social (ANNEL, 2008).

Este trabalho será dividido da seguinte forma: na segunda seção será abordada a discussão em relação à escassez, as externalidades geradas pela energia, a possibilidade de substituição de fontes energéticas e sobre a matriz energética mundial, posteriormente, se tem a contribuições de José Sérgio Casé de Oliveira acerca do tema. Na terceira seção será exposta a metodologia aplicada no estudo, além da exposição do método adotado para a obtenção dos resultados (Mínimos Quadrados Ordinários), do modelo de dados de painel e de variáveis *dummys*. A quarta seção discorre acerca dos resultados obtidos e por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais deste trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo analisar a eficiência, do ponto de vista econômico, da produção de energia proveniente das fontes não restritas e restritas nos países membros da OCED e seus *key partners* (parceiros-chave), entre os anos de 1973 a 2012.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a composição da matriz energética mundial com foco nos países membros da OCDE.
- Realizar uma pesquisa de referências metodológica existentes, que podem servir de base para o desenvolvimento do estudo.
- Efetuar a coleta e organização dos dados necessários, de acordo com a metodologia a ser utilizada e posteriormente organizar e interpretar os resultados obtidos através da análise central do trabalho.

1.2 Justificativa

A energia tornou-se um insumo essencial para o crescimento econômico, devido sua intensa utilização em diversos setores e para realização de diversos serviços, deste modo o crescimento potencial de uma nação está estritamente relacionado com o fornecimento de fontes de energia (SANTIAGO, 2009). Deixando evidente que a definição do tipo de energia a ser usada é de grande importância para o progresso do país.

A motivação do trabalho surgiu da percepção das possibilidades existentes na construção da matriz energética de cada nação, que têm como base a busca por um conjunto ideal para seus anseios, considerando o *tradeoff* [1] existente entre produzir energia restrita ou não restrita.

[1] A expressão *tradeoff* é utilizada na literatura econômica para designar situações de escolha entre opções conflitantes, significa assim o ato de escolher uma coisa em detrimento de outra.

O planejamento energético passa pela decisão de investimento do capital no tipo de energia restrita ou não restrita. O modelo de crescimento econômico ótimo apresentado em Oliveira (2010) estabelece como condição de otimalidade que a razão entre as produtividades marginais da renda de energia restrita e não restrita será igual à razão das produtividades marginais das energias restrita e não restrita em relação ao capital, ponderado pela razão das funções de ponderação para extração dos recursos não restritos e restritos.

A análise empírica de todos estes fatores para um conjunto de países é difícil, visto que não há dados específicos para avaliação da maioria desses parâmetros, porém, a razão de produtividade entre as produtividades marginais da renda de energia restrita e não restrita é possível de se obter para um conjunto de países representativo. A obtenção das estimativas desta relação permite verificar o quão diferentes são os países em relação à produtividade da utilização de seus recursos energéticos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão expostas algumas fundamentações que forneceram respaldo aos estudos realizado neste trabalho.

2.1 Energia e Escassez de Recursos

O aproveitamento dos recursos naturais sofreu variações ao longo dos anos de acordo com a necessidade existente em cada fase da evolução e do progresso tecnológico. Com o desenvolvimento a população tornou-se maior, gerando uma elevação do consumo, deste modo a extração dos recursos naturais também foi elevada. Assim o crescimento da economia mundial gerou um alerta em relação à possibilidade de escassez dos recursos.

A questão da escassez de recursos é debatida há certo tempo por vários pesquisadores, além de ser uma preocupação comum da sociedade em geral, visto que significa sérios riscos as gerações atuais e futuras.

Segundo Silva (1999), Thomas Robert Malthus foi um dos pioneiros no estudo da escassez, em seu livro *"Essay on the Principle of Population" (1798)*, Malthus apontou para um estreitamento que ocorreria no crescimento econômico devido à escassez de alimentos para a população. O processo de escassez seria derivado à utilização de um recurso exaurível, a terra produtiva. Para Malthus o crescimento da população ocorria de forma geométrica enquanto a oferta de alimentos crescia de forma aritmética, deste modo na melhor das hipóteses, devido o fator terra ser fixo, seria inevitável a escassez. A forma de combater esse cenário adverso seria através da adoção de mecanismos de controle populacional.

De acordo com as concepções de Malthus os recursos naturais eram limitados e isso freava o crescimento, entretanto a revolução industrial trouxe algo que não foi previsto na análise de Malthus, o desenvolvimento tecnológico. Com a revolução industrial o progresso tecnológico proporcionou uma elevação da produtividade e parte da teoria de Malthus não se concretizou. A revolução industrial conduziu a indústria a se tornar mais dependente da energia utilizada como insumo para a produção, fato que continua evidente até hoje.

Devido a sua intensa utilização, nas últimas décadas a dúvida em relação à capacidade do suprimento energético está associada às expectativas de esgotamento das

reservas de petróleo. O petróleo mantem-se como a principal fonte energética do mundo, mesmo após as crises de 1973 e 1979, que expuseram as consequências de se ter uma economia mantida energeticamente por um combustível vulnerável as oscilações no preço (SOUZA, 2006).

Os choques do petróleo ocorridos na década de 70 mostraram a necessidade de se buscar formas alternativas de obtenção de energia, desencadeando uma mudança na estrutura do consumo energético. O violento aumento do preço do petróleo desencadeou o término da era da energia barata, o que causou uma limitação no progresso econômico em razão do modelo de desenvolvimento adotado pela maioria dos países até então. Como destaca GOLDEMBER:

> A melhoria da eficiência do uso de energia (¨conservação de energia¨) nos países da OCDE após a primeira crise do petróleo em 1976, foi um dos poderosos instrumentos utilizados para reduzir a dependência do petróleo importado nos países industrializados. Como resultado o Produto Nacional Bruto PIB continuou a crescer enquanto o consumo de energia permaneceu aproximadamente constante durante o período de 1973-88. A antiga e acalentada ideia que o crescimento econômico e o consumo de energia se fazem de maneira independente foi colocada em xeque e o desacoplamento entre as mesmas passou a ser tema de estudo par numerosas analises e políticas energéticas de alguns países. (GOLDEMBER, 1997 apud JANNUZZI & SWISHER, 1997)

Os dois choques do petróleo ocorridos nos anos 70 geraram um cenário de pessimismo em relação ao comportamento do crescimento no longo prazo. No meio acadêmico esse pessimismo foi sentido através da incorporação dos recursos energéticos exauríveis nos modelos de crescimento econômico ótimo (Yang, 1995). Os choques mostraram a enorme dependência mundial desse recurso, assim os novos estudos proporcionaram a possibilidade de se obter uma maior compreensão das propriedades dos recursos restritos (SILVA, 1999).

Devido sua intensa utilização e importância o petróleo teve sua escassez prevista, em termos de reservas físicas, no ano de 1972 em 35 anos e no ano de 1990 em 45 anos (SILVA, 1999). As perspectivas de escassez deste recurso não se concretizaram, ao contrário, as explorações das reservas de petróleo aumentaram, como é possível observar nas figuras 1 e 2, com os dados em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP).

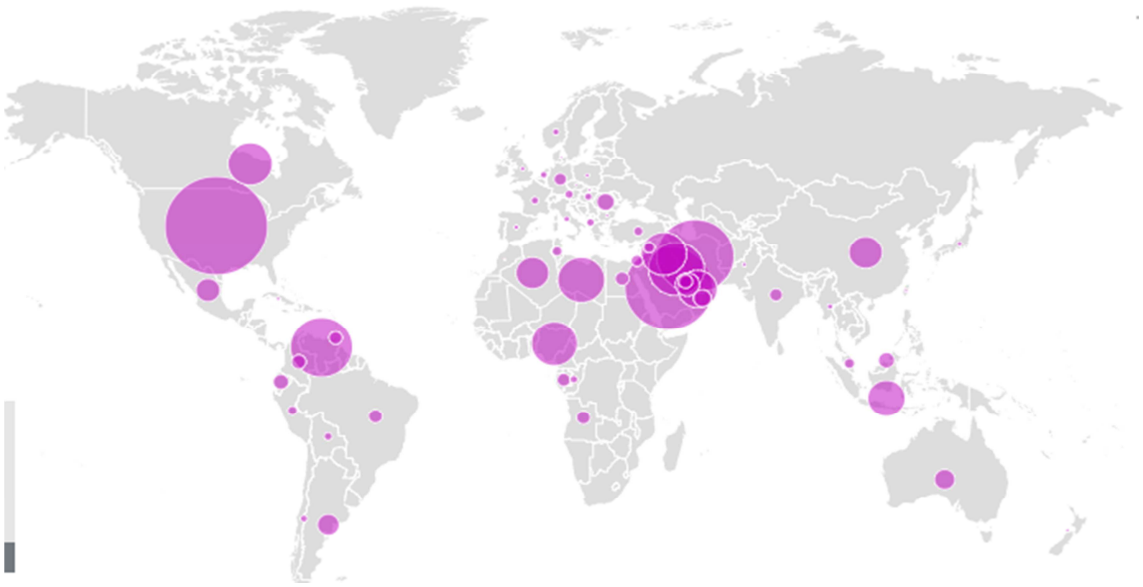

Figura 1 - Produção de petróleo bruto em 1973 (MTEP) - Fonte: Oil Information - IEA

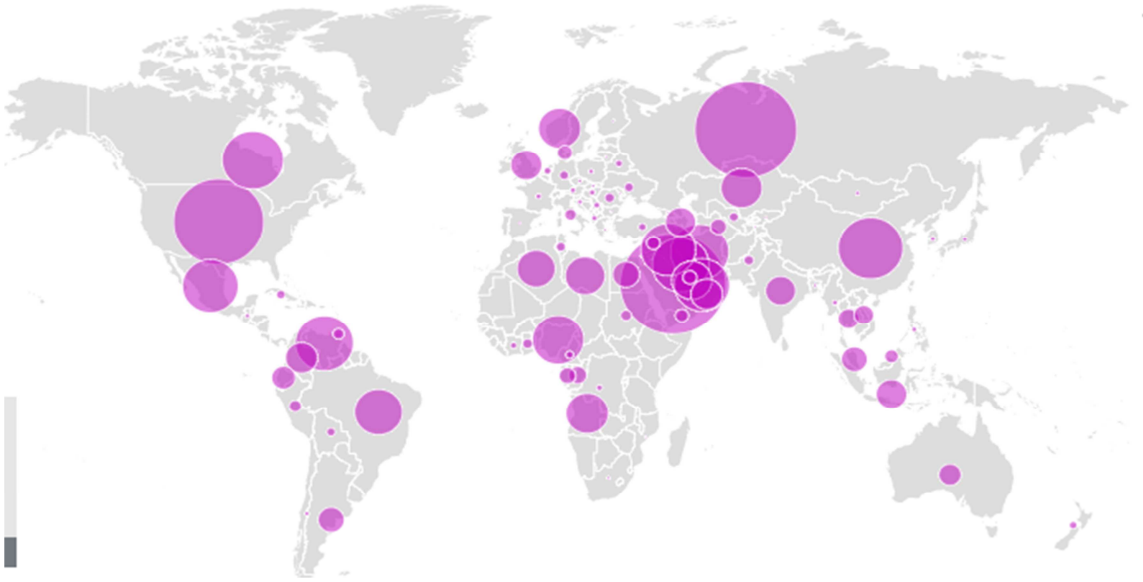

Figura 2 - Produção do petróleo bruto em 2012 (Mtep) - Fonte: Oil Information - IEA

A IEA (2014b) aponta que apesar de sua participação ter diminuído de 46% em 1973 para 31% em 2013, o petróleo permanece sendo responsável pela maior participação na oferta total de energia primária. Em 2013, os principais produtores de petróleo bruto foram a Arábia Saudita, a Rússia, os Estados Unidos, a República Popular da China, Canadá e Kuwait, que juntos foram responsáveis por metade da produção mundial de petróleo.

Como consequência das expectativas negativas em relação as reservas de petróleo não terem sido concretizadas, o centro de discursões e preocupações foi alterado, passando a ter como foco a excessiva utilização dos recursos fósseis, devido as externalidades negativas geradas ao meio ambiente. A preocupação atual não se restringe a falta que farão os recursos exauríveis, mas englobam também o mal causado por eles.

2.2 A Energia e o Meio Ambiente

Os danos ambientais são um dos prejuízos mais evidentes causados pela utilização de energia, seja através de sua exploração ou de seu consumo. Prejuízos como poluição do ar, chuva ácida, efeito estufa, desmatamento e degradação do solo são causados na utilização de algumas fontes (GOMES, 2006).

O sistema energético compreende as atividades desde a extração até o consumo de energia e é responsável atualmente por diversos impactos ambientais, seus efeitos nocivos não se restringem ao nível local onde se realizam as atividades de produção ou de consumo, mas também possuem efeitos regionais e globais. Seus impactos globais mais agressivos são as alterações climáticas, devidas ao acúmulo de gases na atmosfera e a erosão da camada de ozônio.

As etapas que compreendem a indústria energética provocam efeitos negativos tanto ao meio ambiente como também à saúde humana. O processo de extração de recursos energéticos proporciona como implicações mudanças nos padrões de uso do solo e dos recursos hídricos, além de alterações na cobertura vegetal e na composição atmosférica. As atividades desenvolvidas liberam substâncias que são absolvidas pela atmosfera, pela água e pelo solo que podem comprometer a saúde das pessoas, como também trazer prejuízos à fauna e a flora.

O consumo energético associado ao rápido e mal planejado crescimento da população geram impactos ambientais que podem comprometer o desenvolvimento. Os impactos ambientais decorrentes da utilização energética são sentidos tanto por nações industrializadas quanto por nações em desenvolvimento, seja através do uso de combustíveis nucleares ou até mesmo devido à exploração em grande escala de hidroeletricidade (JANNUZZI & SWISHER, 1997).

Mesmo com a preocupação atual em reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa e da utilização de combustíveis mais limpos, as emissões globais de CO_2

da queima de combustíveis continuam a aumentar. Quase dois terços das emissões globais em 2012 tiveram origem em apenas dez países, a República Popular da China (26%), Estados Unidos (16%), Índia (6%), Rússia (5%), Japão, Alemanha, Coréia, Canadá, o Irã e da Arábia Saudita. Entre os combustíveis usados o carvão foi responsável pela maior parte das emissões, seguido pelo petróleo e gás natural (IEA, 2014c).

A emissão de CO_2 de um país pode ser explicada pelo tamanho da população, sua matriz energética, seu PIB, dentre outros fatores. Em 2012 os países com grandes porcentagens de carvão e petróleo em sua matriz energética apresentavam o maior nível de emissões de CO_2, enquanto os países com grande porcentagem de energia não restrita e nuclear (China, Estados Unidos, Índia e Rússia) possuíam níveis mais baixos de emissão, como é possível verificar na figura 3.

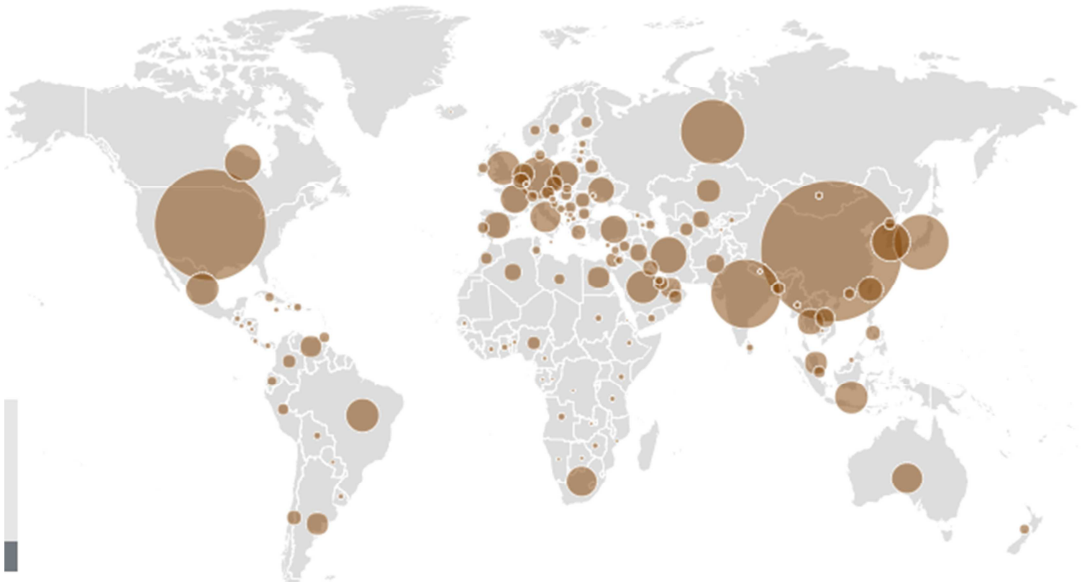

Figura 3 - As emissões de CO_2 provenientes da combustão de combustíveis em 2012 (Mt CO_2) - Fonte: CO_2 Emissions from Fuel Combustion - IEA.

No passado as questões ambientais eram tratadas como secundárias em relação ao contínuo crescimento econômico, mas recentemente os impactos ambientais têm sido apontados como uma restrição ao desenvolvimento.

O desafio de se manter a expansão energética de acordo como as necessidades da sociedade e ao mesmo tempo gerar menores externalidades negativas é evidente, motivo pelo qual tornou-se alvo de destaque. É praticamente impossível erradicar os

impactos ambientais nocivos gerados pelo sistema energético, principalmente os que são causados pelas fontes convencionais exauríveis, ou seja, as fontes restritas, deste modo tem-se como expectativa que essas fontes sejam até certo ponto trocadas pelas não restritas, sendo necessário para isso proporcionar uma viabilidade do uso das fontes não restritas para a população e facilitar o acesso a essa opção.

O problema energético não se restringe a tecnologia disponível para atender à crescente demanda, mas também engloba aspectos técnicos, preferências e custos. Para proporcionar um futuro com menores impactos ambientais existe a necessidade de mudança, que incluem alterações no estilo de vida da população e nas atividades econômicas.

2.3 Substituição de Fontes de Energia

A substituição de fontes de energia restritas por fontes não restritas é esperada por muitos acadêmicos, visto que é tida como uma concreta alternativa para a resolução de estimações catastróficas de exaustão de recursos. Essa substituição de tecnologia é convencionalmente chamada na literatura de tecnologia de *backstop,* uma tecnologia de alto custo que está disponível, à espera apenas da viabilidade econômica. Segundo Yang (1995), o conceito de tecnologia de *backstop* foi utilizado pela primeira vez por Nordhaus em 1973.

A tecnologia *backstop* pode ser definida como uma nova tecnologia de produção substituta próxima de uma tecnologia de recursos exauríveis que utiliza insumos de produção relativamente abundantes, tornando assim as reservas dos recursos esgotáveis obsoletas, quando o custo médio de produção dos substitutos fica abaixo do preço dos recursos esgotáveis (DASGUPTA E HEAL, 1978 APUD LEVY, 2000).

O conceito de tecnologia de *backstop* pode ser considerado intuitivo além de um resultado teórico, a premissa é de que conforme um bem vai se esgotando, seu custo e seu preço vão aumentando até o ponto em que se torna maior que o custo da tecnologia de *backstop*, neste ponto a tecnologia de *backstop* entra no cenário econômico para garantir a continuidade do crescimento. Caso contrário o preço subiria exponencialmente ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2010).

Desenvolver as tecnologias de *backstop* é tornar mais próximo ao ponto de troca, necessidade existente no que diz respeito à geração de energia, pois um recurso natural

exaurível além de não poder ser produzido pelo homem possui um horizonte de reposição muito adverso e vai muito além do ciclo de vida humano.

Em consequência da distribuição desigual das reservas de insumos exauríveis, da concentração produtiva e do consumo no mundo, existe um intenso fluxo desses recursos nos mercados internacionais, tornando imprescindível que todas as economias disponham de políticas de controle, para que o comportamento da nação esteja de acordo com suas variáveis relevantes. O objetivo central nesta questão é de como crescer economicamente, de modo contínuo e da melhor forma possível com os recursos disponíveis, buscando a melhor política para um crescimento econômico ótimo. Sendo possível para isso a utilização da modelagem matemática.

2.4 Modelos Matemáticos Propostos para o Problema de Escassez de Recursos

Segundo Silva (1999) a economia de recursos naturais exauríveis originou-se com os trabalhos de Gray (1914) e de Hotelling (1931), onde Gray realizou a primeira análise neoclássica de conservação de recursos naturais, onde estabeleceu que a análise estática padrão era imprópria para determinar a intensidade marginal de extração de recursos exauríveis e posteriormente Hotelling estendeu esta teoria, estipulando a sequência de preços de mercado que Gray assumiu como dada, em sua concepção:

> O equilíbrio estático na teoria econômica já está bastante desenvolvido, porém não ajuda muito quando a questão central é uma reserva potencial que vai sendo consumida a uma determinada taxa. Neste ponto várias perguntas são formuladas, perguntas essas que só podem ser respondidas com a modelagem dinâmica. (HOTELLING, 1931 apud DE OLIVEIRA, 2010, p. 18)

Neste período de estudo Hotelling não teve acesso ao “Princípio do Máximo”, teoria de Pontryagin e seus colaboradores, que se tornou conhecido apenas em 1962. Devido às limitações teóricas encontradas na época, o problema foi ao máximo simplificado, essa especificação estipula que o retorno de um ativo restrito consiste inteiramente da observação do seu custo de oportunidade e que o equilíbrio de mercado requer que esse custo de oportunidade cresça à taxa de juros do mercado (SILVA, 1999).

Esses autores deram início a uma grande série de contribuições, no amplo ramo da economia que engloba uma reserva potencial limitada que deve ser utilizada na

produção de algum bem ou serviço, como por exemplo, as fontes de energia restritas. Estes trabalhos têm em sua maioria como variável de interesse, a taxa de consumo do recurso e o seu custo de oportunidade de extração.

Busca-se nos trabalhos, de Gray e Hotelling, uma taxa de extração que proporcione o máximo de crescimento continuado. Essa variável é sempre endógena aos modelos, entretanto quando o interesse é macroeconômico e envolvendo otimização de objetivos sociais, torna-se difícil tratar essa variável como endógena. Tendo em vista a globalização, os governantes não dispõem do controle total desta variável, a intervenção governamental é possível, entretanto é cada vez menor devido à abertura econômica. (SILVA, 1999)

Nos modelos de crescimento continuado envolvendo recursos exauríveis torna-se fundamental uma observação dinâmica, que tem como uma de suas ferramentas a teoria do controle ótimo. Essa teoria tem como condição de primeira ordem o "princípio do máximo", também denominado de máximo de Pontryagin. (CHIANG & WAINWRIGHT, 2006). A teoria do controle ótimo auxiliou na formulação de vários resultados teóricos e práticos, tornando-se frequente nas análises econômicas.

Um problema da teoria do controle ótimo tem de forma geral: uma função objetivo a ser maximizada, as equações que restringem a função objetivo que podem ser equações ou equações de igualdade e as condições de transversalidade que são obedecidas (SOUZA 2007 APUD OLIVEIRA 2010).

A função objetivo deve expor os retornos do agente tomador de decisão e as variáveis de controle devem ser especificadas, para saber quais serão as variáveis sujeitas ao controle do agente tomador de decisões. As restrições limitam as possíveis soluções da função objetivo e as condições de transversalidade trazem informações de onde se está partindo e de como se deseja chegar, as condições podem ser ou não restritivas aos objetivos do agente. (SILVA, 1999)

A princípio deve-se definir no sistema quais são as variáveis de estado, e quais as variáveis de controle, de acordo com o objetivo do tomador de decisão, posteriormente com o princípio do máximo de Pontriagyn é possível trazer um problema real para o campo da matemática.

2.5 Matriz Energética Mundial

A matriz energética de uma nação compreende as diferentes fontes de energia disponíveis para o uso nas mais diversas atividades, deste modo à análise da matriz energética de um país tornou-se fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que deve garantir a produção e o uso adequado da mesma.

Um dos principais desafios enfrentados pelos países atualmente é a busca por fontes não restritas mais limpas e com custos inferiores, alternativas mais sustentáveis que não trazem tantos prejuízos ambientais, por serem menos poluentes, como também proporcionam benefícios econômicos.

Os gráficos 1 e 2 mostram o comportamento da distribuição mundial de energia primária total, entre os anos de 1971 e 2012 por combustível, em MTEP, onde turfa e óleo de xisto são agregados como carvão e em outros estão incluídas fontes geotérmica, solar, eólica, biomassa e etc.

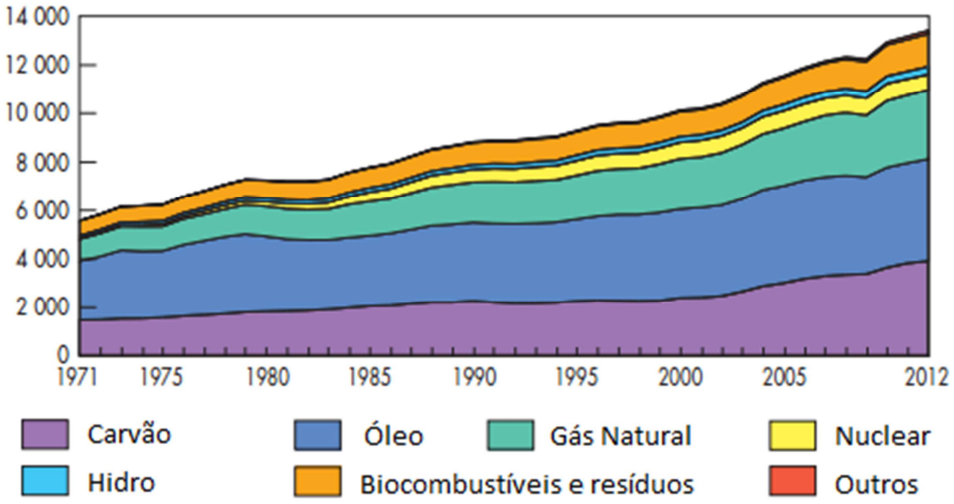

Gráfico 1: Abastecimento mundial de energia primária total de 1971 a 2012 por combustível (MTEP) - Fonte: Key World Energy Statistics 2014 - IEA, traduzido pelo autor.

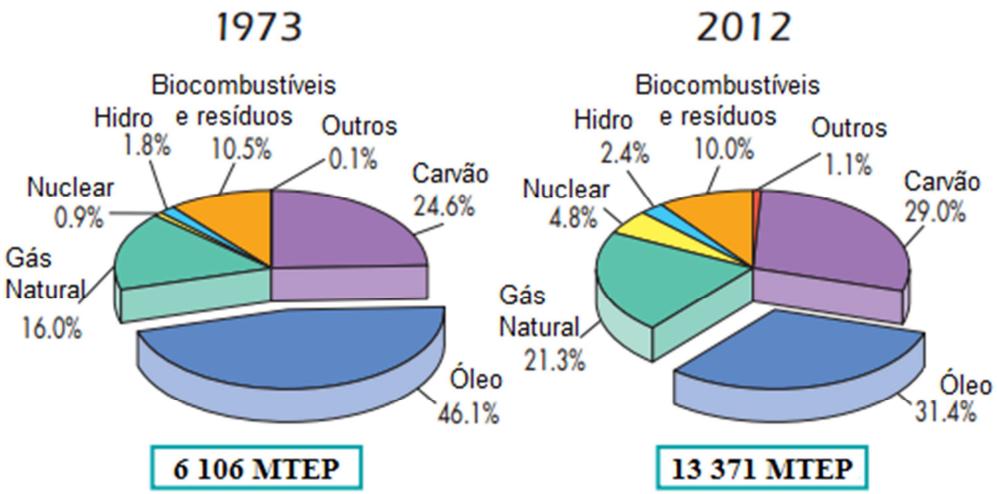

Gráfico 2: Fornecimento de energia primária total em 1973 e 2012 por combustível (MTEP) - Fonte: Key World Energy Statistics 2014 - IEA, traduzido pelo autor.

Torna-se evidente nos gráficos 1 e 2 que entre os anos de 1973 e 2012 houve um crescimento na utilização de praticamente todos combustíveis, com exceção do óleo e dos biocombustíveis e resíduos. Também é possível observar que apesar de ter existido um crescimento de 1% a porcentagem de outros, onde estão incluídas fontes não restritas, ainda permanece pequena a participação destas fontes no cenário mundial.

Em âmbito mundial nos últimos 40 anos, a contribuição das energias não restritas no Total de Oferta Interna de Energia (OIE) manteve-se praticamente estável e em torno de 12,5%. Os biocombustíveis sólidos são a maior fonte de energia não restrita, representando três quartos da oferta mundial de energias não restritas, entretanto algumas recentes políticas de apoio começaram a mudar o cenário de utilização das fontes não restritas de energia. (IEA, 2014a)

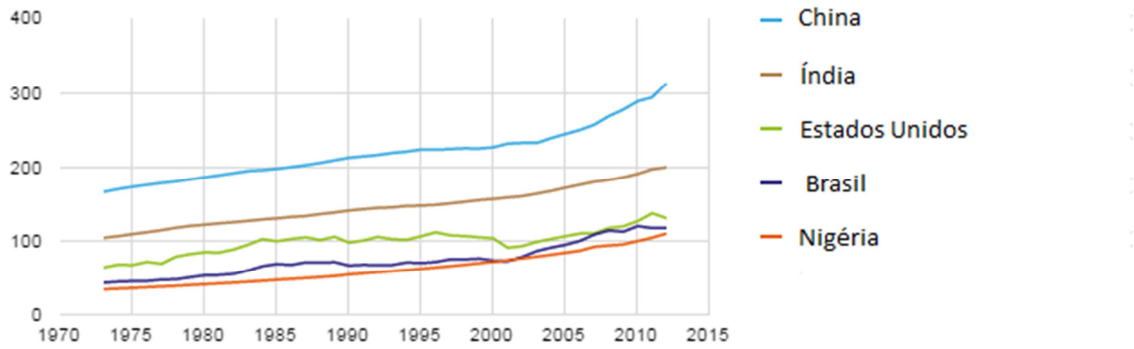

Gráfico 3: Total de produção de energias não restrita de 1973 a 2012 (MTEP) - Fonte: Renewables Information - IEA

No gráfico 3 é possível observar a trajetória de crescimento dos cinco primeiros países no ranking de produção de energia não restrita entre os anos de 1973 e 2012, durante esses anos de análise os cinco países mantiveram suas posições no ranking em questão, a China em primeiro, Índia em segundo, Estados Unidos em terceiro, Brasil em quarto e Nigéria em quinto.

Segundo a IEA (2014a) no âmbito mundial o crescimento da energia solar e eólica compensou o declínio da participação da hidroeletricidade, mantendo assim a posição das fontes não restritas de terceiro maior contribuinte para a produção global de eletricidade, com participação de 21% da geração mundial em 2012, depois do carvão (40%) e ligeiramente atrás de gás (22,5%). Entretanto, para alguns países, a participação das fontes pode ser muito maior, chegando a um valor próximo ou igual a 100%. Este é o caso, por exemplo, da Islândia com 100% de sua eletricidade produzida por energias não restritas (geotérmica e hidrelétrica) e Paraguai e Noruega, com respectivamente 100% e 98% da sua eletricidade produzida pela hidrelétrica.

A escolha da matriz energética de um país é bastante complexa e inclui em sua formulação aspectos sociais, econômicos e políticos. Com a interação mundial e a constante evolução tecnológica as opções energéticas disponíveis, suas vantagens e desvantagens, devem ser alvos de grande atenção por parte de cada país.

Com a preocupação atual em relação ao meio ambiente e a poluição gerada por parte de cada fonte a preocupação maior não é a escassez de recursos e sim o uso excessivo de energia poluente (SILVA, 1999).

No gráfico 4 pode-se verificar a evolução da oferta primária total de energia entre os anos de 1971 e 2012 por região mundial, em MTEP, onde a China não está incluída nos dados do continente asiático.

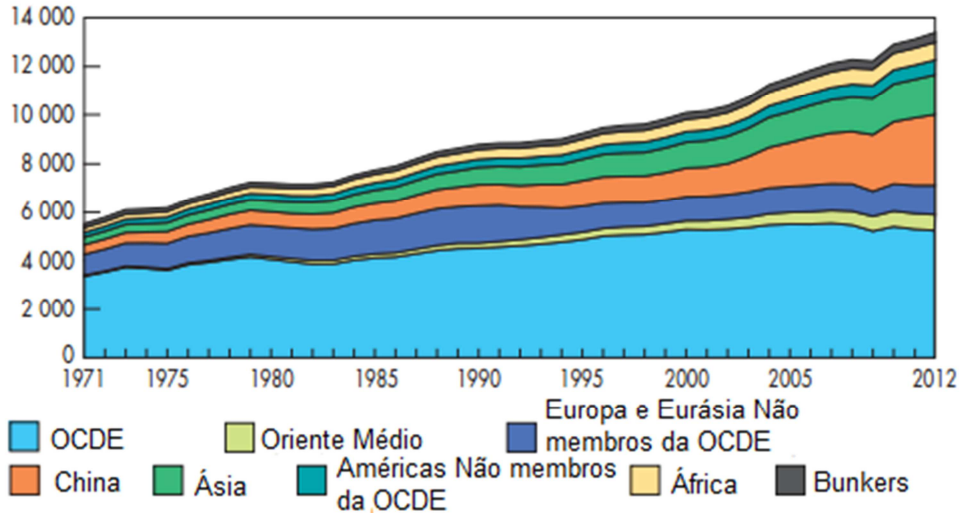

Gráfico 4: Oferta primária total mundial de energia de 1971 a 2012 por região (MTEP) - Fonte: Key World Energy Statistics 2014 - IEA, traduzido pelo autor.

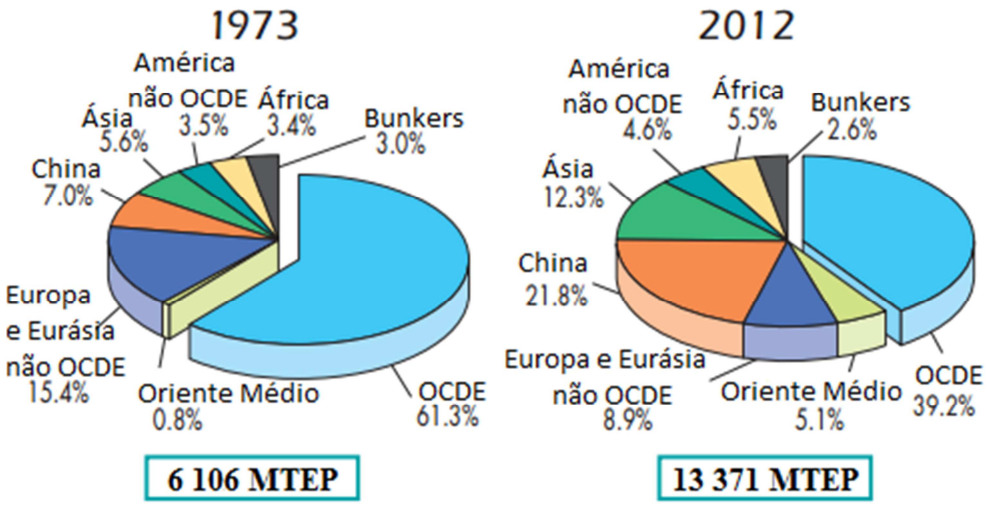

Gráfico 5: Oferta primária total mundial de energia em 1973 e 2012 por região (MTEP) - Fonte: Key World Energy Statistics 2014 - IEA, traduzido pelo autor.

O gráfico 5 ilustra a forte participação dos países da OCDE na oferta primária de energia. Esta fatia do montante mundial em 1973 era de 61,3% e em 2012 correspondia a 39,2%, apesar da diminuição ainda corresponde a uma expressiva porção do total da oferta.

A participação da China também é alvo de destaque na oferta de energia primária, este país possuía em 1973 uma participação de 7,0% que foi bastante ampliada, para 21,8%. As demais regiões apresentadas no gráfico 8 também possuem

uma elevação na participação na oferta, com exceção do conjunto de países da Europa e Eurásia não membros da OCDE e os *Bunkers*[2].

2.6 Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

A OCDE, *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) em inglês, foi fundada em 1960, substituindo a Organização Europeia para a Cooperação Econômica (OECE), que foi formada com o objetivo de administrar o Plano Marshall no processo de reconstrução dos países europeus envolvidos na Segunda Guerra Mundial.

A OCDE era inicialmente formada por 18 países europeus além de Estados Unidos e Canadá, com o intuito de promover o desenvolvimento global. Atualmente a organização é composta por 34 membros e possui uma abrangência maior que a inicial, visto que tem como participantes países da Europa, da América e da região da Ásia-Pacífico.

Com sede em Paris, a organização é composta por muitos dos países mais avançados do mundo e por países emergentes, atualmente possui também um foco que inclui o contato e relação de cooperação com países não membros, além de relações com organismos e organizações internacionais. Apesar de ter como seu objetivo a promoção de políticas que visam o desenvolvimento econômico, a atividade da organização vai além dos aspectos econômicos, tendo projetos na área social e ambiental.

Os atuais países membros da OCDE e seus respectivos anos de entrada na organização são: Alemanha (1961), Austrália (1971), Áustria (1961), Bélgica (1961), Canadá (1961), Chile (2010), Coreia (1996), Dinamarca (1961), Eslovênia (2010), Espanha (1961), Estados Unidos (1961), Estônia (2010), Finlândia (1969), França (1961), Grécia (1961), Holanda (1961), Hungria (1996), Irlanda (1961), Islândia (1961), Israel (2010), Itália (1962), Japão (1964), Luxemburgo (1961), México (1994), Noruega (1961), Nova Zelândia (1973), Peru (1961), Polônia (1996), Portugal (1961), Reino Unido (1961), República Eslovaca (2000), República Tcheca (1995), Suécia (1961) e Suíça (1961). [3]

[2] Inclui aviação internacional e bancas marítimas internacionais.

[3] http://www.oecd.org/about/membersandpartners/list-oecd-member-countries.htm. Acesso em 22 de Maio de 2015.

Segundo a SAIN (Secretaria de Assuntos Internacionais Brasileira), em 2012 na Reunião do Conselho Ministerial da OCDE o Brasil, China, Índia, Indonésia e África do Sul passaram a ser considerados *key partners* (parceiros-chave) da organização, desta forma o Brasil não é um membro da OCDE, mas lhe é permitido participar de comitês da organização e de inúmeras áreas de trabalho, de forma seletiva. A participação nos comitês lhe serve como fonte de informações e de plataforma para a divulgação de posicionamentos.

2.6.1 Aspectos energéticos e a OCDE

Segundo Jannuzzi e Swisher (1997) nos anos 70 as projeções de demanda de energia tinham como base as previsões macroeconômicas, estas projeções indicavam um crescimento muito alto da demanda efetiva de energia, que não se comportava de acordo com as expectativas, o que estimulou os analistas a buscar as razões implícitas. Com as novas análises verificou-se que no geral muitos bens e serviços com uso intensivo de energia estavam atingindo pontos de saturação em países industrializados, dessa forma os resultados sugeriam que o crescimento econômico poderia ser mantido com uma oferta de energia menor que a indicada nas projeções até então utilizadas, como consequência na década seguinte praticamente todos os países da OCDE reviram suas projeções de demanda energética, causando a diminuição destas.

Os gráficos 6 mostra a oferta total de energia primária por combustível nos países membros da OCDE no ano de 1973 e no ano de 2013, em MTEP, onde turfa e óleo de xisto são agregados com carvão e em outros estão incluídas fontes geotérmica, solar, eólica, biomassa e etc.

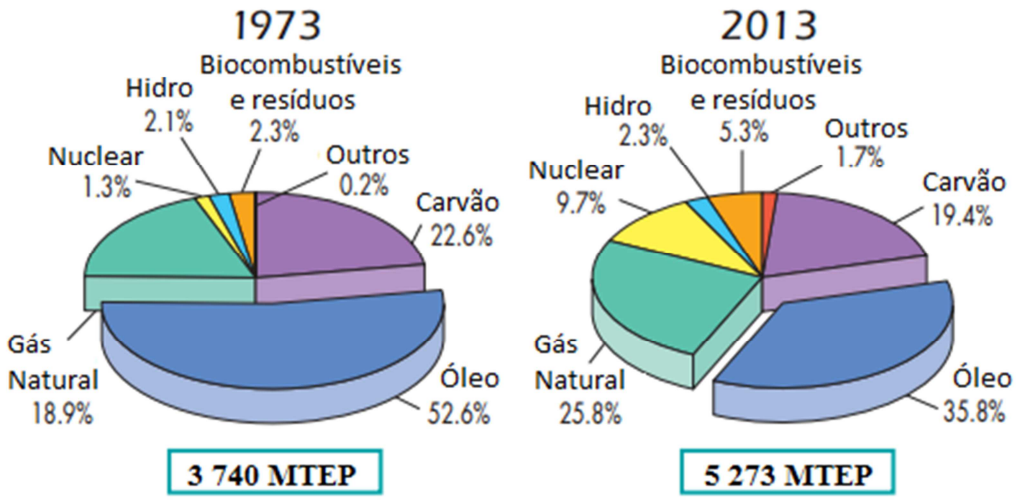

Gráfico 6: Fornecimento de energia primária total em 1973 e 2013 por combustível na OCDE (MTEP) - Fonte: IEA, traduzido pelo autor.

Tendo como base o gráfico 6 é possível realizar uma comparação dos dados nos anos de 1973 e 2013, constatando assim que houve um crescimento na utilização de quase todos combustíveis, com exceção do carvão e do óleo, como uma maior elevação na fonte nuclear, igual a 8,4%. É possível também verificar um acréscimo de 1,5% na fonte outros, onde estão incluídas fontes não restritas, apenas de baixo esse percentual é maior no âmbito da OCDE do que o apresentado na esfera mundial.

2.6.2 Agência Internacional de Energia

A AIE, *Internacional Energy Agency* (IEA) em inglês, é um organismo autônomo, criado em novembro de 1974 em resposta a primeira crise do petróleo, com a missão de promover a segurança energética entre seus países membros, além de aconselhar seus membros com o intuito de terem uma política energética consistente.

A agência desenvolve um extenso programa de cooperação energética entre vinte e nove economias, membros também da OCDE. Os países membros da AIE são: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, Noruega, Nova Zelândia, Peru, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suécia e Suíça.

Segundo IEA (2013) os objetivos da agência são: Assegurar amplo acesso aos países membros as fontes de energia; Promover políticas energéticas sustentáveis que

estimulem o crescimento econômico e a proteção do meio ambiente num contexto global; Melhorar a transparência dos mercados internacionais através da coleta e análise de dados relativos à energia; Apoiar a colaboração mundial em matéria de tecnologias energéticas de modo a assegurar o abastecimento futuro e diminuir seu impacto ambiental; E encontrar soluções para os desafios energéticos.

Para ser um integrante da AIE o país deve ser membro da OCDE, entretanto a adesão à OCDE não resulta automaticamente na entrada na AIE, para tornar-se membro da AIE o país deve cumprir os requisitos impostos pela agência com o intuito de alcançar seus objetivos.

A AIE trabalha com os países terceiros, pois devido a crescente interdependência económica o mercado de energia está cada vez mais global e as questões ambientais tornam-se de suma importância. A AIE tem desenvolvido relações de trabalho estreitas de cooperação com grandes países consumidores de energia, como a China e a Índia, e reforçou os laços com os principais produtores, como a Rússia e alguns países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Outros países parceiros prioritários incluem o Brasil, Indonésia, México e África do Sul. A agência estuda os desenvolvimentos relacionados com a energia em países produtores e consumidores de energia em todo o mundo, e examina o contexto global para as decisões políticas.

2.7 O Modelo de Oliveira

Em seu trabalho intitulado “A utilização de recursos energéticos restritos e não restritos: modelo dinâmico, implicações econômicas e analise empírica para o contexto brasileiro”, elaborado em 2010, José Sérgio Casé de Oliveira discute, através de um modelo de crescimento econômico, a existência de relação entre a produção de energia derivada de fontes restritas e a de fontes não restritas para o contexto brasileiro.

O trabalho é iniciado com uma explanação referente à escassez de recursos, aos métodos utilizados para a construção do modelo e a matriz energética brasileira. Posteriormente é apresentado o modelo de crescimento econômico ótimo que busca auxiliar no *tradeoff* existente entre produzir energia restrita ou não restrita, através do Princípio de Maximização de Pontryagin.

O modelo utiliza a da teoria do controle ótimo. A ideia é representar uma economia em evolução, que procura maximizar o bem-estar social intertemporal, sujeito

as restrições definidas como: identidade da renda, identidade do investimento, tecnologia de produção, dinâmica do consumo das reservas, dinâmica do crescimento da força de trabalho e o balanço energético.

Essas condições de otimização resultam na conclusão teórica que serve para o entendimento das implicações econômicas da decisão de se investir na produção de energia restrita ou de não restrita.

2.7.1 Identidade da renda

A identidade da renda foi definida neste modelo como:

$$F(K_0;L_0;E_R;E_{NR}) = I + Lc$$

Onde a função F representa o produto agregado desta economia que será função de capital, trabalho, taxa anual de consumo do recurso energético restrito e da taxa anual de consumo do recurso energético não restrito. As duas últimas variáveis foram explicitadas devido ao objetivo central do estudo que é o entendimento do *tradeoff* existente entre a produção de energia restrita ou energia não restrita.

Onde:

F = função de produção de bens não energéticos.

K_0 = bem de capital para produção de bens não energéticos.

L_0 = trabalho para a produção de bens não energéticos.

E_R = taxa anual de consumo, ou extração, do recurso energético restrito.

E_{NR} = taxa anual de consumo, ou extração, do recurso energético não restrito.

I = investimento para acumulação e a reposição do capital K.

L = força total de trabalho.

c = consumo *per capta* de bens não energéticos.

2.7.2 Identidade de investimento

Em tal economia, a identidade de investimento bruto foi definida por:

$$\dot{K} = \mu\ (K_0 + K_R + K_{NR}) + I$$

Onde, podemos entender que o investimento pode ser usado de duas formas básicas, para o aumento do estoque de capital, e para manter a capacidade produtiva, repondo o capital depreciado. Este investimento pode ser destinado tanto para o capital empregado na produção de energia restrita, como na produção de energia não restrita e também para a produção de bens não energéticos.

Onde:

K_i = bem de capital para a produção de extração do energético i. Para i = 0, R e NR.

μ = taxa de depreciação do capital K_i.

A seguir, temos a igualdade que representa a totalidade do capital.

$$K = K_0 + K_R + K_{NR}$$

2.7.3 Tecnologias de produção

A fim de expressar a divisão entre a tecnologia utilizada na extração e esforço de extração nas tecnologias de produção, o modelo faz uso da neutralidade de Hicks[4].

Desta forma, tem-se a tecnologia de produção do recurso energético *i* expressa da seguinte forma:

$$E_i = F_i(K_i;L_i)h_i(D_i), \text{ i = R, NR.}$$

Onde temos que:

F_i = função de produção para extração do recurso energético i.

L_i = trabalho para a produção da extração do energético i.

h_i = função de ponderação para extração do recurso energético i.

D_i = depósito ou reserva natural do recurso energético i.

Temos ainda que a função em h, de forma geral, decresce com D, de forma que isso é valido apenas para os recursos restritos, posto que para os recursos não restritos o

[4] Para que um progresso tecnológico pode ser classificado como “neutro” quando deixa uma determinada variável econômica inalterada sob determinadas circunstâncias estipuladas. No caso especifico de um progresso tecnológico é Hicks-neutro se deixa a taxa marginal de substituição técnica inalterada à mesma relação entre capital e trabalho (Chiang, 1992).

depósito ou reserva natural do recurso energético não varia, de forma que a função de ponderação para extração do recurso energético se encontrar sempre em seu máximo. Como é implícito da própria natureza dos recursos restritos apresentarem exaustão dos recursos, à medida que as reservas diminuem, se faz necessário o emprego de mais capital e trabalho para se dar continuidade a extração. Desta forma, entende-se que esse tipo de função apresenta retornos decrescentes quando minas usadas são exploradas, à medida que uma fonte de energia chega mais próximo da exaustão.

De uma forma mais geral, irá se supor que:

$$\lim_{Di\to 0} hi(Di) = 0; \qquad \lim_{Di\to \infty} hi(Di) = 1;$$
$$\lim_{Di\to 0} \frac{\partial hi(Di)}{\partial Di} = \infty; \qquad \lim_{Di\to \infty} \frac{\partial hi(Di)}{\partial Di} = 0;$$

Desta forma, para recursos restritos o h se encontrará no intervalo de 0 a 1, e já no caso de recursos não restritos, por possuírem reservas infinitas, o h será sempre igual a 1.

2.7.4 Dinâmica do consumo das reservas

O consumo de determinada reserva D_i, referente ao recurso i, foi definido como:

$$\dot{D}_i = - E_i, \text{ i = R, NR.}$$

Onde a variação das reservas depende simplesmente do consumo das mesmas.

2.7.5 Dinâmica do crescimento da força de trabalho

A representação do crescimento da força de trabalho deu-se da seguinte forma:

$$\dot{L} = \beta \text{L}$$

Sendo o β é a taxa de crescimento da população, e $\beta > 0$. E a força de trabalho atende a seguinte equação:

$$L = L_0 + L_R + L_{NR}$$

Onde temos L_0 como a força de trabalho empregada na produção de bens não energéticos.

2.7.6 Balanço energético

A taxa de consumo de todos os recursos energéticos existentes é expressa como:

$$E = E_R + E_{NR}$$

Assim, o consumo total, é a soma dos consumos de energia restrita e energia não restrita.

2.7.7 Função-objetivo

Para o funcional objetivo do problema, fez-se uso da estrutura utilitariana (utilidade intertemporal), da seguinte forma:

$$J = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} Lu(c)dt$$

Onde temos que *e* representa a taxa social de desconto, u representa a função de utilidade por trabalhador e c é o consumo de bens não energéticos por trabalhador.

As suposições usadas foram retiradas de Silva, 1999:

Para *u* assumiremos uma função contínua em $\hat{A}_+$ para todo argumento de *u.* Será homogênea de 1º grau, estritamente côncava para todo argumento de *u*, monotonicamente crescente em $\hat{A}_+$, de forma que seja estritamente crescente em $\hat{A}_+$ para qualquer argumento de *u*, e é uma função classe C^2 em $\hat{A}_{++}$, de forma que todas as suas derivadas parciais existem e são continuas em $\hat{A}_{++}$ em todos os argumentos desta função-utilidade.

Onde os limites abaixo devem ser válidos.

$\lim_{c\to 0} \frac{\partial u}{\partial c} = +\infty$;

$\lim_{c\to\infty} \frac{\partial u}{\partial c} = 0$;

$\lim_{\alpha\to 0} \frac{\partial u}{\partial \alpha} = +\infty$,

$\lim_{\alpha\to\infty} \frac{\partial u}{\partial \alpha} = 0$;

$\lim_{\beta\to 0} \frac{\partial u}{\partial \beta} = +\infty$;

$\lim_{\beta\to\infty} \frac{\partial u}{\partial \beta} = 0$.

2.7.8 Problema

O modelo elaborado por Oliveira (2010) é colocado da seguinte forma:

$$\text{Max J} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t}\, Lu(c)dt \qquad (1)$$

Sujeito à:

$$\text{F}(K_0;L_0;E_R;E_{NR}) = \text{I} + \text{Lc} \qquad (2)$$

$$\dot{K} = \mu\,(K_0 + K_R + K_{NR}) + \text{I} \qquad (3)$$

$$\text{K} = K_0 + K_R + K_{NR} \qquad (4)$$

$$\text{E} = E_R + E_{NR} \qquad (5)$$

$$E_R = F_R(K_R;L_R)h_R(D_R) \qquad (6)$$

$$E_{NR} = F_{NR}(K_{NR};L_{NR})h_{NR}(D_{NR}) \qquad (7)$$

$$\dot{D_R} = -\,E_R \qquad (8)$$

$$\dot{D_{NR}} = -\,E_{NR} \qquad (9)$$

$$\text{L} = L_0 + L_R + L_{NR} \qquad (10)$$

$$\dot{L} = \beta\text{L} \qquad (11)$$

A análise utiliza como variáveis de controle: E_R, E_{NR}, I e K_i (i = 0, R, NR). E as variáveis L, L_i (i = 0, R, NR), E e c dependem do controle e do estado.

Para esta análise o problema teve o seguinte Hamiltoniano:

$$\text{H} = e^{-\delta t}\{\text{Lu(c)} + q_K\,[-\,\mu\,(K_0 + K_R + K_{NR}) + \text{I}] - p_{E_R}(E_R) - p_{E_{NR}}(E_{NR}) - q_L(\beta\text{L})\}$$

Desta forma tem-se como variáveis de co-estado: $e^{-\delta t}\, q_K$, $e^{-\delta t} p_{E_R}$, $e^{-\delta t} p_{E_{NR}}$ e $e^{-\delta t} q_L$, ou seja, são os preços-sombra descontados ao longo do tempo.

Dessa análise surgiram alguns resultados significativos, parte desses resultados e comum a outros trabalhos anteriores, entretanto dois deles foram até então particulares do modelo, são eles:

$$\frac{\partial F}{\partial E_R} = \frac{\partial F}{\partial E_{NR}} \frac{\partial F_{NR} / \partial K_{NR}}{\partial F_R / \partial K_R} \frac{h_{NR}}{h_R} \quad (1)$$

$$\frac{\partial F}{\partial K_0} = \mu \quad (12)$$

Segundo Oliveira (2010) a equação (1) diz que a produtividade marginal da energia restrita será igual à produtividade marginal da energia não restrita vezes uma função de ponderação composta pela razão das produtividades marginais dos capitais investidos em energia não restrita e restrita, multiplicado pela razão das funções de ponderação para extração dos recursos não restritos e restritos. Desta forma, admitindo-se que a função de ponderação para extração de recursos não restritos é sempre igual a 1, posto que as reservas desse tipo de insumo são inesgotáveis, temos que o definirá qual tipo de energia é mais eficiente, do ponto de vista econômico, é a razão entre a produtividade marginal do capital investido em energias restritas e a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita multiplicada pela sua função de ponderação de extração do recurso não restrito, ou seja:

$$Para\ h_{NR} = 1\ temos\ que, \frac{\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}}{\frac{\partial F_R}{\partial K_R} h_R}$$

Assim, se a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita for maior que a produtividade marginal do capital investido em energia restrita

multiplicado pela função de ponderação de extração de recursos restrito, tem-se que a energia não restrita é mais eficiente que a energia restrita. A função de ponderação da extração de recursos restritos pode elevar-se quando ocorrer algum evento que aumente as reservas do recurso explorado, deste modo.

A equação (2) diz que a produtividade marginal do capital investido em bens não energéticos será igual à depreciação, desta forma entende-se que as receitas da produção de bens não energéticos são equivalentes ao que se perde no processo de produção, de forma a não agregar valor aos bens, neste caso, apenas a energia seria capaz de agregar valor real aos bens produzidos, ou seja, quando se utiliza energia no processo de produção, está se atribuindo a energia o valor do bem que excede seus custos de produção.

3 METODOLIGIA

Nesta seção, faz-se algumas considerações sobre os procedimentos de coleta e análise dos dados, para atender ao objetivo proposto.

3.1 Método de Análise e Coleta de Dados

No caso em estudo, o produto da economia será expresso por:

$$Y = F(K_0, L_0, E_R, E_{NR})$$

Onde se tem:

Y – produto da economia.
F = função de produção de bens não energéticos.
K_0 = bem de capital para produção de bens não energéticos.
L_0 = trabalho para a produção de bens não energéticos.
E_R = taxa anual de consumo, ou extração, do recurso energético R.
E_{NR} = taxa anual de consumo, ou extração, do recurso energético NR.

Logo temos que:

$$Y = \beta_0 \, {K_0}^{\beta_1} \, {L_0}^{\beta_2} \, {E_R}^{\beta_3} \, {E_{NR}}^{\beta_4}$$

$$\ln(Y) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(K_0) + \beta_2 \ln(L_0) + \beta_3 \ln(E_R) + \beta_4 \ln(E_{NR}) + u$$

Onde:

u = erro estocástico

A forma usual do modelo estatístico será a seguinte:

$$\ln(Y) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(E_R) + \alpha_2 \ln(E_{NR}) + u$$

O modelo utilizado não contempla as variáveis K_0, bem de capital para produção de bens não energéticos, e L_0, trabalho para a produção de bens não energéticos, devido à supressão dos dados. Utiliza-se a ferramenta estatística MQO para testar qual dos tipos de energia, restrita ou não restrita tem maior eficiência no que diz respeito à minimização dos custos de produção, para os membros da OCDE e seus *key partners*.

Sendo a variável independente Y que é o PIB nacional em dólares a preços de 2005, e como variáveis explicativas temos E_R que é toda energia restrita produzida em cada país por ano (utilizando-se como proxy a variável produção de energia proveniente de fontes restritas) e E_{NR} que é toda energia não-restrita produzida em cada país por ano (utilizando-se como proxy a variável produção de energia primária proveniente de fontes não restritas), as duas formas de energia mensuradas em MTOE (milhões de toneladas equivalentes de petróleo).

Os dados utilizados serão o Produto Interno Bruto (PIB) a preços constantes de 2005 em dólares, informação proveniente do *The World Bank* (2015), além da produção de energia a partir de fontes de energia restritas e a produção a partir de fontes não restritas, ambas em MTEP da IEA (2014d), para o período de 1973 a 2012.

Os países analisados são os participantes da OCDE e da AIE, com exceção da Estônia, Holanda, Hungria, Luxemburgo, Nova Zelândia, Polônia, República Eslovaca, República Tcheca e Suíça, que não foram considerados devido à inexistência de dados nas fontes utilizadas para o período em questão. Além dos membros da OCDE foram observados também seus *key partners*, Brasil, China, Índia, Indonésia e África do Sul.

3.2 Mínimos Quadrados Ordinários

Para realizar a análise empírica deste trabalho foi utilizado o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), desenvolvido pelo matemático alemão Carl Friedrich Gauss. Segundo Gujarati (2004) o método MQO busca minimizar o erro, e a partir da soma dos resíduos elevados ao quadrado, encontrar os estimadores. A partir deste método buscou-se encontrar o melhor ajustamento para o conjunto de dados.

Com este método, procurou-se explicar o comportamento de uma variável, neste trabalho o PIB, através de outras variáveis, neste trabalho a produção de energia restrita e de energia não restrita, de modo que se estabeleça a correlação existente entre a variável independente (o PIB) e as variáveis explicativas (as fontes de energia), busca-

se também o quanto as variáveis explicativas de fato explicam a variável independente, ou seja, os graus de ajustamento entre os dados.

Conforme aponta Gujarati (2004) ao usar o método dos mínimos quadrados, assume-se algumas premissas a respeito das variáveis:

- O modelo de regressão é linear nos parâmetros.
- Os valores dos regressores são fixados em amostras repetidas, de modo que o regressor é não estocástico.
- Tendo o valor do regressor dado, o valor esperado, ou o valor médio, do distúrbio aleatório é zero, ou seja, o valor médio condicional do distúrbio aleatório será zero.
- Tendo o valor do regressor dado, a variância do distúrbio aleatório é a mesma para todos os itens da amostra, ou seja, as variâncias condicionais do distúrbio aleatório é sempre a mesma.
- Tendo o valor de quaisquer dois regressores dados, a correção entre quaisquer distúrbios aleatórios é igual a zero.
- Inexistência de covariância entre os regressores e seus respectivos distúrbios aleatórios.
- O número de parâmetros sendo estimados deve ser menor que o número de observações.
- O regressor deve possuir variância positiva e finita.
- O modelo utilizado na análise empírica não possui erro de especificação ou viés.
- Não existência de linearidade perfeita entre as variáveis explicativas.

Através da utilização do método MQO e considerando suas premissas, busca-se traçar uma função de regressão amostral que se aproxime do que seria a função de regressão populacional.

3.3 Dados de painel

Na realização deste trabalho será utilizado, para o alcance dos objetivos, um exercício econométrico com dados de painel. Segundo Gujarati (2004) nos dados em painel uma mesma unidade de corte transversal é acompanhada ao longo do tempo, esses dados possuem em síntese uma dimensão especial e outra temporal. A utilização de dados de painel é justificada por tornar mais rica a análise empírica, de uma forma

que não poderia ser alcançada se houvesse a utilização de dados em séries temporais ou em séries temporais.

O uso de dados de painel tem várias vantagens, tais como: aumentar consideravelmente o tamanho da amostra, ser indicado para estudar a dinâmica de mudança ao estudar observações de corte transversal repetidas e permitir o exame de modelos comportamentais mais complicados.

Em oposição a seus pontos positivos, os dados de painel geram problemas de estimações e inferência, como problemas de heterocedasticidade e de autocorrelação. Existem várias técnicas de estimação que têm como intuito de enfrentar um ou mais desses problemas, sendo de mais destaque o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios ou modelo de correlação de erros.

Segundo Gujarati (2004) no modelo de efeitos fixos, o intercepto do modelo de regressão pode diferir entre os indivíduos, para levar em conta os diferentes interceptos recorre-se as variáveis binárias, com isso esse modelo é conhecido como modelo de variáveis binárias de mínimos quadrados. Em relação aos efeitos fixos a estimação depende das premissas feitas a respeito do intercepto, dos coeficientes angulares e do termo de erros. Existindo as seguintes possibilidades:

- O intercepto e os coeficientes angulares são constantes no longo do tempo e no espaço e o termo de erro capta a diferença ao longo do tempo e entre indivíduos.
- Os coeficientes angulares são constantes, entretanto o intercepto varia entre os indivíduos.
- Os coeficientes angulares são constantes, entretanto o intercepto varia entre indivíduos e ao longo do tempo.
- Todos os coeficientes (o intercepto e os coeficientes angulares) variam entre indivíduos.
- O intercepto e os coeficientes angulares variam entre indivíduos e ao longo do tempo.

Uma alternativa ao modelo de efeitos fixos é o modelo de correlação de erros, que como especifica Gujarati (2004) pressupõe que o intercepto de uma unidade individual é uma extração aleatória de uma população muito maior com um valor médio constante, o intercepto individual é expresso como o desvio de seu valor médio constante. No modelo de efeitos aleatórios o intercepto representa o valor médio de

todos os interceptos de corte transversal e o elemento erro representa o desvio aleatório do intercepto individual de seu valor médio.

3.4 Variáveis Dummy

Na análise de regressão o regressando, ou variável dependente é frequentemente influenciada não apenas pelas variáveis proporcionais, mas também por outras que são de natureza qualitativa ou nominal. As variáveis nominais em geral indicam a presença ou a ausência de uma qualidade ou atributo, um modo de quantificar esses atributos é formular variáveis artificiais que assumam os valores 1 ou 0, o 1 indicando a presença do atributo e o 0 sua ausência. As variáveis que assumem esses valores 0 e 1 são denominadas variáveis binárias ou *dummy* e podem ser consideradas um artifício para classificar dados em categorias mutuamente exclusivas (GUJARATI, 2004).

Segundo Gujarati (2004) as variáveis binarias podem ser incorporadas aos modelos de regressão com a mesma facilidade das variáveis quantitativas. A incorporação ao modelo de regressão deve levar em consideração alguns aspectos, tais como:

- Se uma variável qualitativa tem m categorias, só é possível introduzir (m-1) variáveis binárias, pois se essa regra não for seguida haverá uma situação denominada de armadilha das variáveis binárias, isto é, de colinearidade perfeita ou multicolinearidade.
- A categoria para a qual não se designa uma variável binária é denominada como categoria base, de referência, de controle, de comparação ou omitida e todas as comparações são realizadas em relação a ela.
- O valor do intercepto representa o valor médio da categoria de referência.
- Há coeficientes das variáveis binárias conhecidos como coeficientes diferenciais de intercepto, pois mostram de quanto o valor do intercepto quer recebe o valor de 1 difere do coeficiente da categoria de referência.
- Se uma variável qualitativa tem mais de uma categoria a escolha da categoria de referência fica a cargo do pesquisador.

- Um modo de contornar a armadilha da variável binária é incluindo tantas variáveis binárias quantas forem as categorias, desde que não se inclua o intercepto no modelo.

4 RESULTADOS

Devido à grande quantidade de variáveis *dummys* utilizadas no processo foi escolhida a África do Sul como base para todos os coeficientes e para o cálculo dos termos para os demais países, para não se ter problemas de multicolinearidade.

A tabela 1 mostra os principais resultados obtidos através da regressão, onde são listados os valores das produtividades marginais da energia restrita e da energia não restrita, obtidas através dos dados por país, com periodicidade anual, para o período de 1973 a 2012, por meio das informações disponibilizadas pela IEA.

Tabela 1: Análise da Regressão do Modelo

	País	$\frac{\partial F_R}{\partial K_R}$	p-valor[5]	$\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}$	p-valor
1	África do Sul	-0,1353	0,3649	0,8828	0,0000
2	Alemanha	-0,5494	0,0659	0,1253	0,0001
3	Austrália	0,6261	0,0000	0,4597	0,1772
4	Áustria	0,3966	0,0222	0,8487	0,8698
5	Bélgica	0,1886	0,0816	0,1466	0,0001
6	Brasil	0,0327	0,2822	0,9753	0,7005
7	Canadá	0,4937	0,0128	0,7683	0,7573
8	Chile	-0,4551	0,0978	1,0251	0,4659
9	China	1,7102	0,0000	0,5206	0,6372
10	Coréia, Rep.	1,0531	0,0000	0,1756	0,0006
11	Dinamarca	0,0153	0,3233	0,2849	0,0031
12	Espanha	0,1032	0,1409	0,4928	0,0411
13	Estados Unidos	4,3241	0,0000	0,4591	0,1272
14	Finlândia	0,0622	0,1886	0,8643	0,9274

[5] Com um nível de significância de 95%.

15	França	0,3853	0,0009	0,3445	0,0857
16	Grécia	0,0912	0,1559	0,4494	0,0294
17	Indonésia	0,3594	0,0280	1,3611	0,1127
18	Índia	0,7182	0,0000	1,2770	0,1122
19	Irlanda	0,0824	0,1610	0,6525	0,2227
20	Itália	0,7034	0,0000	0,6674	0,2781
21	Japão	0,0531	0,2295	0,7831	0,6194
22	México	0,1857	0,0543	0,8743	0,9698
23	Noruega	0,0981	0,1290	0,9574	0,7906
24	Peru	0,4871	0,0001	-0,0338	0,0040
25	Portugal	-0,0419	0,5591	0,6175	0,1658
26	Reino Unido	0,1104	0,1331	0,2552	0,0009
27	Suécia	0,0008	0,3711	1,0511	0,4414

Fonte: Elaboração Própria

Como já apontado neste trabalho anteriormente, segundo Oliveira (2010) a produtividade marginal da energia restrita será igual à produtividade marginal da energia não restrita vezes uma função de ponderação composta pela razão das produtividades marginais dos capitais investidos em energia não restrita e restrita, multiplicado pela razão das funções de ponderação para extração dos recursos não restritos e restritos. Admitindo-se que a função de ponderação para extração de recursos não restritos é sempre igual a 1, ou seja, $h_{NR} = 1$, visto que as reservas dos recursos não restritos são inesgotáveis, o que definirá qual tipo de energia é mais eficiente, do ponto de vista econômico, é a razão entre a produtividade marginal do capital investido em energias restritas e a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita multiplicada pela sua função de ponderação de extração do recurso não restrito, ou seja:

$$\frac{\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}}{\frac{\partial F_R}{\partial K_R} h_R}$$

Deste modo, se a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita, $\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}$, for maior que a produtividade marginal do capital investido em energia restrita, $\frac{\partial F_R}{\partial K_R}$, multiplicado pela função de ponderação de extração de recursos restrito, h_R, considera-se que a energia não restrita é mais eficiente que a energia restrita. Ressaltando que a função de ponderação da extração de recursos restritos pode sofrer variações quando houver algum evento que gere a elevação ou diminuição das reservas deste recurso explorado, por exemplo, a descoberta da possibilidade de exploração do pré-sal, que ocorreu no Brasil, gerou uma elevação da função de ponderação da extração de petróleo nesta nação.

Quando o país possui valores positivos de produtividade marginal do capital investido em energia restrita e de produtividade marginal do capital investido em energia não restrita, o investimento em ambas as fontes de energia vai gerar efeitos também positivos no capital, é porque a nação tem capacidade tecnológica para este feito.

Os países que apresentaram valor negativo para uma das fontes não possuem mais ganhos de produtividade nesta determinada fonte, visto que quando a produtividade marginal é negativa há indícios de que a produtividade média chegou ao seu máximo, deste modo devem aplicar seu capital no outro tipo de fonte cujo valor da produtividade foi positivo. O comportamento das variáveis no caso, por exemplo, da África do Sul, onde é possível observar que neste caso especifico $\frac{\partial \mathrm{F_{NR}}}{\partial \mathrm{K_{NR}}}$ é igual a 0,8828 e $\frac{\partial \mathrm{F_R}}{\partial \mathrm{K_R}}$ é igual a -0,1353, o valor de $\mathrm{h_R}$ é desconhecido, entretanto sabemos que esta no intervalo $0 \leq h_R \leq 1$, deste modo:

$$\frac{0{,}8828}{-\,0{,}1353\; h_R}$$

Podemos afirmar que independente do valor de h_R, o investimento em energia não restrita, E_{NR}, é mais vantajoso para essa nação. Esse comportamento é simular ao verificado na análise dos dados da Alemanha, Chile e Portugal. No caso específico do

Peru o comportamento foi oposto ao da África do Sul, pois a variável que apresentou valor negativo foi a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita, deste modo para essa nação o investimento em energia restrita, E_R, é mais vantajoso.

Para encontrar o controle, ou seja, a definição de qual tipo de energia (restrita ou não restrita) é mais eficiente para uma dada economia, foram utilizados os dados das produtividades expostos na tabela 1, onde:

Se na razão $\frac{\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}}{\frac{\partial F_R}{\partial K_R} h_R}$ o valor da produtividade marginal do capital investido em energia não restrita for maior que a produtividade marginal do capital investido em energia restrita, o investimento em energia não restrita é mais vantajoso. Esta conclusão é possível visto que como h_R é um valor que se encontra no intervalo entre 0 e 1, o valor do divisor desta equação será menor que o dividendo, independente do valor da função de ponderação de extração de recursos restrito. Os países que apresentam esse comportamento são: Áustria, Brasil, Canadá, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Grécia, Indonésia, Índia, Irlanda, Japão, México, Noruega, Reino Unido e Suécia. Nas nações que apresentam esse comportamento os recursos disponíveis devem ser aplicados em energia não restrita, E_{NR}.

Se na razão $\frac{\frac{\partial F_{NR}}{\partial K_{NR}}}{\frac{\partial F_R}{\partial K_R} h_R}$ o valor da produtividade marginal do capital investido em energia não restrita for menor que a produtividade marginal do capital investido em energia restrita, para se tomar a decisão de em que tipo de energia se deve investir é necessário se ter conhecimento do valor de h_R, visto que este valor vai influenciar diretamente na escolha do investimento, pois o comportamento da função de ponderação de extração de recursos restrito pode tornar o divisor maior ou menor que o dividendo. Os países que apresentam esse comportamento são: Áustria, Bélgica, China, Republica da Coreia, Estados Unidos, França e Itália.

Tendo em vista a quantidade de países ser um pouco elevada serão expostos a seguir apenas os casos:

- Áustria

$$\frac{0{,}4597}{0{,}6261\ h_R}$$

- Brasil

$$\frac{0,9753}{0,0327\ h_R}$$

- China

$$\frac{0,5206}{1,7102\ h_R}$$

- Coréia. Rep.

$$\frac{0,1756}{1,0531\ h_R}$$

- Dinamarca

$$\frac{0,2849}{0,0153\ h_R}$$

- Estados Unidos

$$\frac{0,4591}{4,3241\ h_R}$$

- França

$$\frac{0,3445}{0,3853\ h_R}$$

- Itália

$$\frac{0,6674}{0,7034\ h_R}$$

- Japão

$$\frac{0,7831}{0,0531\ h_R}$$

- Reino Unido

$$\frac{0,2552}{0,1104\ h_R}$$

Tendo como base o modelo de Oliveira (2010) e os dados de razões calculados, podemos analisar o parâmetro de controle de cada país, expostos na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de Controle

	País	Controle
1	África do Sul	E_{NR}
2	Alemanha	E_{NR}
3	Austrália	$*$
4	Áustria	E_{NR}
5	Bélgica	$*$
6	Brasil	E_{NR}
7	Canadá	E_{NR}
8	Chile	E_{NR}
9	China	$*$
10	Coréia, Rep.	$*$
11	Dinamarca	E_{NR}
12	Espanha	E_{NR}
13	Estados Unidos	$*$
14	Finlândia	E_{NR}
15	França	$*$
16	Grécia	E_{NR}
17	Indonésia	E_{NR}
18	Índia	E_{NR}
19	Irlanda	E_{NR}
20	Itália	$*$
21	Japão	E_{NR}
22	México	E_{NR}
23	Noruega	E_{NR}
24	Peru	E_R

25	Portugal	E_{NR}
26	Reino Unido	E_{NR}
27	Suécia	E_{NR}

Fonte: Elaboração Própria

Os sete países em que na tabela o controle foi exposto por * são os quais o resultado da escolha do qual tipo de energia é mais viável economicamente esta condicionado ao conhecimento valor de h_R, pois o valor desta variável é imprescindível na escolha a ser tomada.

Do conjunto de vinte e sete países analisados em dezenove se mostrou mais viável do ponto de vista econômico o investimento em energia não restrita, em um deles é mais praticável o emprego de capital em energia restrita e nos sete restantes não foi possível determinar a escolha mais viável.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o que irá embasar a escolha do tipo de energia, restrita ou não restrita, é mais eficiente economicamente para cada país, é a razão existente entre a produtividade marginal do capital investido em energia não restrita e a produtividade marginal do capital investido em energia restrita multiplicada pela sua função de ponderação de extração do recurso restrito. O comportamento destas variáveis irá definir a escolha de cada país.

Foi encontrado por meio de análise empírica que dos vinte e sete países da OCDE analisados mostrou-se mais viável, do ponto de vista econômico, a utilização de energia não restrita em quinze deles: Alemanha, Áustria, Canadá, Chile, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Grécia, Irlanda, Japão, México, Noruega, Portugal, Reino Unido e Suécia. A utilização de energia restrita evidenciou-se viável economicamente em apenas um país, o Peru. No caso dos demais países, para se tomar a decisão de em que tipo de energia se deve investir é necessário se ter conhecimento do valor da função de ponderação de extração de recursos restritos.

Dos cinco parceiros-chaves da OCDE que foram alvo de análise em quatro deles se mostrou mais viável o investimento em energia não restrita: África do Sul, Brasil, Indonésia e Índia. O único desses países em que para se ter o parecer do tipo de energia é mais viável investir, é necessário o valor da função de ponderação de extração de recursos restrito, é a China.

Os agentes tomadores de decisão de cada país devem ter deliberações que visem à promoção de políticas públicas com o intuito de incentivar a produção de energia proveniente das fontes que se revelaram mais eficientes economicamente para a nação em questão, visto que esta escolha proporcionara maiores ganhos de capital.

Por fim, tendo em vista a atual preocupação com as externalidades negativas geradas pelas fontes não restritas, para que os países, onde é economicamente mais viável o investimento neste tipo de energia, optem por troca-las por fontes restritas, seria necessário, para não se ter perda de capital, uma compensação por parte dos demais países dispostos a promover este estimulo de proteção ao ambiente.

REFERÊNCIAS

ANNEL, Agência Nacional de Energia. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil - Parte I Energia no Brasil*. Acesso em 2015 de Junho de 25, disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par1_cap2.pdf

BANK, T. W. (s.d.). *GDP (Constant 2005 US$)*. Acesso em 19 de Abril de 2015, disponível em http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD/countries/1W?page=6&order=wbapi_data_value_1984%20wbapi_data_value%20wbapi_data_value-last&sort=asc&display=default

CHIANG, A. C., & WAINWRIGHT, K. (2006). *Matemática para Economistas.* Rio de Janeiro: Tradução da 4ª edição, Campus.

GOLDEMBER, J., & VILLANUEVA, L. D. (2003). *Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.* São Paulo: Edusp.

GOMES, A. C. (2006). *Estudo da Utilização do Gás Natural Como Fonte Geradora de Energia no Brasil.* Florianópolis: Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência Econômica, UFSC.

GUJARATI, D. N. (2004). *Econometria Básica.* São Paulo: 3ª edição, Markon Books.

IEA, *International Energy Agency*. (2014). *Key World Energy Statistics*. IEA Statistics.

IEA, *International Energy Agency*. (2014a). *Renewables Information.* IEA Statistics.

IEA, *International Energy Agency*. (2014b). *Oil Information.* IEA Statistics.

IEA, *International Energy Agency*. (2014c). *CO2 Emissions from Fuel Combustion.* IEA Statistics.

IEA, *International Energy Agency*. (2013). *World Energy Outlook 2013*. Acesso em 10 de JUNHO de 2015, disponível em https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Executive_Summary_Portuguese.pdf

IEA- International Energy Agency. (2014d). Acesso em 21 de Abril de 2015, disponível em Total Energy Production (MTOE): http://energyatlas.iea.org/?subject=-297203538

JANNUZZI, G. D., & SWISHER, J. N. (1997). *Planejamento Integrado de Recursos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis.* . Campinas: Autores Associados.

LEVY, A. (2000). *From Hotelling to Backstop Technology.* University of Wollongong.

OLIVEIRA, J. S. (2010). *A Utilização de Recursos Energéticos Restritos e não Restritos: Modelo Dinâmico, Implicações Econômicas e Análise Empírica Para o Contexto Brasileiro.* Cauaru: Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência Econômica, Campus Agrestre, UFPE.

SAIN, Secretaria de Assuntos Internacionais. Acesso em 03 de Abril de 2015, disponível em http://www.sain.fazenda.gov.br/sobre-a-sain-1/ocde

SANTIAGO, K. T. (2009). *A strong argument for using non-commodities to generate electricity.* Recife: Dissertação de Mestrado, Campus Recife, UFPE.

SILVA, A. S. (1999). *O uso dos recursos energéticos, água e energia solar: implicações econômicas e decisão através de modelos dinâmicos.* Recife: Tese de Doutorado, PIMES/UFPE.

SOUZA, F. R. (2006). *Impacto do Preço do Petróleo na Política Energética Mundial.* Rio de Janeiro : Dissertação de Mestrado, UFRJ.

YANG, Z. (1995). Optimal exporting of exhaustible resources with endogenous trade revenue: The case of a resource-scarce and capital-short economy. *Resourcean d Energy Economics 17*, 379-404.