

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE DIFERENTES FONTES DE ENERGIA E SUA
RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO TRABALHO

Eduardo Felipe Soares

Florianópolis, 2018.

EDUARDO FELIPE SOARES

**A DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE DIFERENTES FONTES DE
ENERGIA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO
TRABALHO**

Monografia submetida ao curso de Ciências
Econômicas da Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências
Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Oliveira.

Florianópolis, 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Soares, Eduardo Felipe

A distribuição mundial de diferentes fontes de energia e sua relação com a produtividade do trabalho / Eduardo Felipe Soares ; orientador, Guilherme de Oliveira , 2018.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Crescimento econômico e meio ambiente. 3. Fontes de energia. 4. Produtividade do trabalho. 5. Emissões de CO₂. I. , Guilherme de Oliveira. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Eduardo Felipe Soares

**A DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE DIFERENTES FONTES DE ENERGIA E
SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO TRABALHO**

A Banca Examinadora resolveu atribuir nota 8,5 ao aluno Eduardo Felipe Soares na disciplina CNM 7107 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora:

Prof. Guilherme de Oliveira, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Carmen Rosário O. G. Gelinski, Dr.^a

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Patricia Fonseca Ferreira Arienti, Dr.^a

Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

O crescimento econômico tem relação direta com as questões ambientais. A economia do meio ambiente é dedicada a essa compreensão. A literatura possui um amplo debate sobre as diferentes abordagens da economia Ambiental e Ecológica. Ambas possuem aspectos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa, como por exemplo, a curva de Kuznets ambiental e a contabilidade das emissões. A diferenciação das fontes de energia possibilitou melhor entendimento da identidade de Kaya, e a relação da produtividade do trabalho com as emissões de gases poluentes. A presente pesquisa tem como objetivo analisar economicamente a distribuição mundial do uso de energia e sua relação com a distribuição da produtividade do trabalho, por meio de estatística descritiva e gráficos de associação. Os países selecionados foram escolhidos como objetivo de análise por possuírem heterogeneidade entre si e passarem por processos históricos e econômicos distintos. Foram analisadas variáveis econômicas e ambientais no período de 1995 a 2014. Os resultados apontam que o aumento da produtividade pode ser dado pelo aumento da produtividade do trabalho, porém, este acréscimo na produtividade do trabalho gera aumentos nas emissões de gases poluentes, aumentando a degradação ambiental. Porém pode-se reverter este quadro com a substituição de tecnologias, usando fontes renováveis na matriz energética, possibilitando o crescimento econômico aliado com a diminuição das emissões de poluentes.

Palavras-chave: Crescimento econômico; produtividade do trabalho; fontes de energia; emissão de CO₂.

ABSTRACT

Economic growth is directly related to environmental issues. The economics of the environment is dedicated to this understanding. The literature has a wide debate on the different approaches of the Environmental and Ecological economy. Both have relevant aspects for the development of the research, such as the environmental Kuznets curve and the accounting of emissions. The differentiation of energy sources allowed for a better understanding of Kaya's identity, and the relationship between labor productivity and emissions of polluting gases. The present research aims to analyze economically the global distribution of energy use and its relation with the distribution of labor productivity, through descriptive statistics and association graphs. The selected countries were chosen as the objective of analysis because they have heterogeneity among each other and undergo different historical and economic processes. Economic and environmental variables were analyzed from 1995 to 2014. The results indicate that the increase in productivity may be due to the increase in labor productivity, but this increase in labor productivity generates increases in emissions of polluting gases, increasing degradation environmental. However, this scenario can be reversed by replacing technologies, using renewable sources in the energy matrix, enabling economic growth combined with the reduction of pollutant emissions.

Keyword: Economic growth; labor productivity; energy sources; emissions of CO₂.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Energia primária no mundo em 2016, total e parcelas conforme dados da Agência Internacional de Energia (IEA).....	21
Tabela 2- Matriz Energética e Matriz Elétrica mundial no ano de 2016.....	23
Tabela 3- Taxa média de crescimento, entre 1995 e 2014, das emissões de CO2 (gB), da população (gN), do produto por trabalhador (gX/N), da oferta de energia por produto (gE/X) e das emissões de CO2 pela oferta de energia (gB/E).....	40
Tabela 4- Taxa média de crescimento, entre 1995 e 2014, da produtividade do trabalho (gX/N), do produto pela oferta de energia (gX/E) e da oferta de energia por trabalhador (gE/N).....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de Kuznets sobre a degradação da natureza.	19
Figura 2 - Fluxograma da identidade de Kaya.....	28
Figura 3 - Curva de Lorenz.....	31
Figura 4 - Estoque de capital (em trilhões de US\$), PIB (em trilhões de US\$), e produtividade do trabalho (em milhões de US\$) de 1995 a 2014	32
Figura 5 - Emissão de CO ₂ (B), oferta total de energia (OTE), não renovável (OTEnr) e renovável (OTEr), e produção por emissão (X/B) de 1995 a 2014.	33
Figura 6 - Crescimento das emissões de CO ₂ e do produto de 1995 a 2014.....	34
Figura 7 - Estoque de capital por trabalhador; emissões de CO ₂ pelo produto; oferta total de energia não renovável e renovável por trabalhador; em relação à produtividade do trabalho em 1995 e 2014.....	36
Figura 8 - Produtividade do trabalho; estoque de capital por trabalhador; oferta total de energia não renovável e renovável por trabalhador; em relação às emissões de CO ₂ por trabalhador em 1995 e 2014.....	38
Figura 9 - Índice de Gini de 1995 a 2014	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3 Estrutura da monografia.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Crescimento econômico e meio ambiente.....	13
2.1.1 <i>Contabilidade das emissões</i>	15
2.1.2 <i>A Curva de Kuznets Ambiental – CKA</i>	18
2.2 Fontes de geração de energia.....	20
2.2.1 <i>Matriz energética e matriz elétrica</i>	23
2.3 Produtividade do trabalho e crescimento econômico.....	24
2.3.1 <i>Decomposição de Kaya e a relação com a produtividade do trabalho</i>	25
3 MÉTODOS E TÉCNICAS.....	27
3.1 Referencial teórico.....	28
3.2 Formas de operacionalização da pesquisa.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a teoria econômica vem se preocupando em dar espaço às questões ambientais em suas análises e modelos, buscando desenvolver um modelo sustentável que diminua o impacto das ações humanas na natureza, e entender esta relação do ser humano com o meio ambiente. Existem diferentes linhas de pensamento, dentro da teoria econômica, que abordam questões relacionadas ao meio ambiente, gerando divergências em razão das diferentes bases teóricas que geram interpretações também distintas no que se referem às causas, consequências e soluções dos problemas ambientais.

Dentro de todas as correntes teóricas, a Economia Ambiental se utiliza de conceitos e modelos microeconômicos convencionais para demonstrar a relação entre o meio ambiente e a economia. Adere ao modelo os recursos naturais que podem ser substitutos perfeitos do capital e do trabalho, ou seja, o crescimento econômico, e por consequência o desenvolvimento corrente de tecnologias, passa a ser possível transportar as barreiras criadas pela falta de recursos naturais e ambientais (ROMEIRO, 2001).

Para Taylor (2008), a Economia Ambiental subestima o papel da energia no sistema econômico e no meio ambiente. Para a Economia Ecológica, a energia é central, estando alicerçada no pensamento de Georgescu-Roegen (1971). Segundo Taylor (2008), o sistema econômico consome o meio ambiente (matéria e energia de baixa entropia), juntamente fornecendo lixo (matéria e energia de alta entropia). A Economia Ecológica também aborda questões como fluxo de bem-estar aos indivíduos que compõem a sociedade.

Nesse contexto, a escolha que cada país faz a respeito de qual fonte de energia usar vai além de aspectos econômicos, envolvendo questões políticas, sociais e geográficas. Sobre a ênfase em energia baseada em combustível fóssil, a *International Energy Agency* (IEA) estima que em 2016 as fontes primárias de energia no mundo consistiam em petróleo (33,0%), carvão mineral (26,8%), gás natural (21,9%), nuclear (4,9%), acumulando um total de 86,6% como principais fontes de energia primária no mundo. Este elevado percentual no uso mundial de combustíveis fósseis está ligado com a questão do aquecimento global, em que as emissões de gases são os maiores causadores do efeito estufa.¹

Uma formalização econômica importante no contexto das mudanças climáticas é a

¹ Aquecimento global é o processo de aumento da temperatura média dos oceanos e da atmosfera da Terra causado por massivas emissões de gases que intensificam o efeito estufa, originados de uma série de atividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, como o desmatamento.

chamada identidade de Kaya. Utilizada para estimar as emissões de gases, é composta pelo número de trabalhadores, multiplicado pela produtividade por trabalhador, juntamente com a energia por produtividade e eficiência por energia. Uma parte importante da identidade de Kaya é a produtividade do trabalho. Ao seu turno, a taxa de crescimento da produtividade pode ser decomposta em produtividade por energia utilizada, somado com energia gasta por trabalhador (TAYLOR, 2008). Isso explora um *trade-off* entre crescimento econômico e degradação ambiental, em que a energia é necessária para a expansão da produtividade do trabalho, mas por outro, a energia é a principal responsável pela emissão de gases do efeito estufa. Nesse sentido, justifica-se a análise das distribuições das fontes de energia e da produtividade do trabalho no mundo, bem como a distribuição das emissões ao redor do mundo.

Nos últimos anos, cada vez mais os países estão preocupados em utilizar fontes de energias consideradas “limpas”, ou seja, renováveis e que não afetam tanto o meio ambiente, fontes de energias que na sua produção e no seu consumo não liberam gases ou resíduos no meio ambiente, geradores do efeito estufa e do aquecimento global.

A partir da década de 1990, com o desenvolvimento da curva ambiental de Kuznets, dá-se para estudar este *trade-off* por um outro aspecto. *Trade-off* esse entre crescimento econômico e qualidade ambiental, passa a ser explicado como, a queda na qualidade do meio ambiente causado pelo crescimento do produto vai somente até certo nível de renda *per capita* de uma nação e, ultrapassado dado nível, a qualidade do meio ambiente passa a aumentar junto com o crescimento econômico (PANAYOTOU, 1993). Portanto, inicialmente a qualidade ambiental seria deixada de lado, dando preferências a outras variáveis, como a renda, por exemplo, mas passaria a ter mais importância quanto maior for a renda *per capita* e o crescimento econômico. Por outro lado, não se pode barrar o desenvolvimento de novas tecnologias e o livre mercado em razão de alcançar certo nível de sustentabilidade em determinado país.

Já a produtividade é um tema de crescimento econômico, muito abordado na teoria econômica. É uma medida da eficiência com a qual um país combina capital e trabalho para produzir mais com o mesmo nível de insumos. Geralmente está associada com a produtividade da mão-de-obra medida pela produção por pessoa empregada ou a produção por pessoa por hora. Uma melhor medida do crescimento da produtividade é a produtividade total dos fatores, que leva em conta mudanças na quantidade de capital a ser usada e também mudanças no tamanho da força de trabalho (CUNHA, 2018). Tradicionalmente os modelos de crescimento econômico ignoram o papel desempenhado

pela energia, o que não acontece na economia ecológica.

O principal intuito deste trabalho é dar um passo nessa direção e subsidiar a discussão da economia ecológica e sua relação na determinação da produtividade do trabalho. Diante do exposto, o presente trabalho visa responder a seguinte questão: como a distribuição mundial de diferentes fontes de energia se relaciona com a distribuição da produtividade do trabalho?

1.2 Objetivos

A presente seção descreve os objetivos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar economicamente a distribuição mundial do uso de energia e sua relação com a distribuição da produtividade do trabalho.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos citam-se:

- I) Revisar como a literatura econômica aborda o consumo de energia limpa e suja e a sua relação com a produtividade do trabalho;
- II) Realizar um levantamento de dados em fontes oficiais e aplicar uma técnica estatística para explorar a distribuição do uso de energia, da produtividade do trabalho e das emissões de CO₂ para uma amostra de países;
- III) Correlacionar à disponibilidade energética com a produtividade do trabalho.

1.3 Estrutura da monografia

Além desta introdução, o presente trabalho será dividido em quatro capítulos. O Capítulo 2 é dedicado à revisão da literatura de crescimento econômico e meio ambiente, com foco nas fontes de energias e na literatura acerca da produtividade do trabalho. O Capítulo 3 detalha a estratégia de identificação e as formas de operacionalização da pesquisa. A análise e discussão dos principais resultados da pesquisa é feita no Capítulo 4. Por fim, o Capítulo 5 tece breves considerações finais a cerca do estudo e da pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O reconhecimento de que há relação entre crescimento econômico e o meio ambiente gerou um grande número de estudos sobre esse tema na teoria econômica. Segundo Brock e Taylor (2004, p.1) “*The relationship between economic growth and the environment is, and may always remain, controversial.*” Este capítulo tem como objetivo abordar alguns dos principais autores que tratam sobre crescimento econômico e meio ambiente, juntamente com uma literatura a cerca das fontes de geração de energia, e também, da produtividade do trabalho.

2.1 Crescimento econômico e meio ambiente

A economia do meio ambiente é dedicada à compreensão das relações econômicas que afetam diretamente o meio ambiente, por meio da aplicação das ferramentas analíticas utilizadas na macroeconomia e na microeconomia. Essas ferramentas auxiliam na análise das causas da degradação ambiental, bem como nas consequências para a economia de possíveis métodos e técnicas de abatimento e mitigação.

A mesma está inserida no contexto da economia normativa, ou seja, estuda as relações econômicas e dita como elas deveriam ser, discutindo seus valores morais das decisões tomadas; ao contrário da economia positiva, que apenas estuda as relações econômicas como elas são, ou seja, compreender o funcionamento do sistema econômico sem dar enfoque a juízos de valor de certa decisão tomada (ROMEIRO, 2001). Assim sendo, a economia do meio ambiente (normativa) possui duas abordagens principais.

A primeira, Economia Ambiental, está diretamente associada ao arcouço teórico convencional da economia, na qual o Estado tem papel fundamental na correção das falhas do mercado, por meio de incentivos e decisões maximizadoras de utilidade, devido às relações econômicas do meio ambiente serem vistas como um problema de alocação intertemporal de recursos. Nesse viés, o desenvolvimento de novas tecnologias possibilita a substituição dos recursos naturais, portanto não impondo limites absolutos à expansão da economia. A segunda abordagem é a Economia Ecológica, que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo meio que o contém, impondo uma restrição absoluta a sua expansão. (ROMEIRO, 2001). Assim sendo, a Economia Ecológica tem uma visão que os recursos naturais têm uma capacidade limitada, e que sua utilização deve ser respeitada, contrapondo o que acredita a abordagem da Economia Ambiental.

Nesse contexto, surgem duas definições básicas sobre sustentabilidade - sustentabilidade forte e sustentabilidade fraca - sendo que o que diferencia esses dois conceitos é o grau de substituíbilidade dos fatores de produção e a possibilidade de reversão do impacto ambiental. A sustentabilidade fraca considera que o capital produzido e o capital natural são substituíveis, conforme se desenvolve maiores e melhores tecnologias no processo produtivo. Ou seja, se ocorrer a falta de capital natural, irá impactar diretamente no seu preço, e este será assim substituído. Solow (1974) afirma que se o futuro for parecido com o passado, haverá reduções prolongadas e substanciais nas necessidades de recursos naturais por unidade de produção real.

A sustentabilidade forte afirma que o grau de substituição entre os dois tipos de capital, natural e produzido, é limitado e em alguns casos sendo inviabilizado, de acordo com o capital natural disponível, indo de encontro a Economia Ecológica no que diz respeito à relação dos seres humanos, que fazem parte de um sistema organizacional da qual são dependentes. Portanto, o capital natural não pode ser facilmente substituído pelo capital produzido, pois possui elementos importantes e particulares para o equilíbrio como um todo. Perman *et al.* (2003) cita Daly, para demonstrar a semelhança entre a Economia Ecológica e a sustentabilidade forte:

Like most of those who approach substitutability from an ecological perspective, and in contrast to most economists, Daly sees limited prospects for the substitution of human for natural capital. Hence the argument for the preservation of the latter. The ecological approach to sustainability is basically of the 'strong' variety. (PERMAN *et al.*, 2003, p. 96)

Na Economia Ecológica, um conceito importante é introduzido como sustentação para sua teoria, que é a segunda lei da termodinâmica, a qual demonstra que no processo de transformação da matéria se tem perdas de energias, não recuperáveis, entrando de acordo com o argumento de substituição limitada em capital produzido e capital natural. Daly (2014) se refere de "growthmania" o argumento ortodoxo de escassez relativa gera um crescimento ilimitado devido a substituição dos recursos naturais pela tecnologia. O mesmo autor acredita que "*substitution is always of one form of low-entropy matter-energy for another*" (DALY, 2014, p. 12), porém não se tem substituto para a baixa entropia em si, por motivo da mesma ser escassa em suas fontes terrestres e solar. Assim sendo, o sistema econômico é dependente deste orçamento limitado de baixa entropia, mas se essa baixa entropia for totalmente usada no crescimento econômico, poderá afetar a biosfera na medida que alguns padrões evolutivos possam ser dificultados.

No entanto, a teoria convencional afirma que o problema de escassez é relativo, que pode ser superado pela substituição de fatores e mudanças no preço que levarão a substituição. Porém, Daly (2014) defende que não há substituição para todos os fatores, principalmente os de baixa entropia, e que um aumento em seus preços não levaria a substituição, mas sim a um aumento da inflação. Para o autor, o conceito que há relatividade da escassez total e a de que não se tem limites quanto o crescimento eficaz acarreta em uma ideia de “*growth forever and the more the better*” (DALY, 2014, p. 13). Portanto, o crescimento por essa visão seria um exercício de “*wishful thinking*” (DALY, 2014, p. 14), que vai contra a segunda lei da termodinâmica.

Em resposta para essa questão, os *growthmaniacs* acreditam que o crescimento econômico ilimitado é possível pelo desenvolvimento de novas tecnologias, que irão ter crescimento exponencial. Contudo, Daly (2014) acredita que crescer exponencialmente não é mensurável e ainda pode fazer parte do problema, pois tal progresso técnico deve abandonar o sentido quantitativo e passar a ser qualitativo, induzindo um padrão de vida que poupe recursos.

Portanto, nota-se que a economia do meio ambiente aborda um longo debate entre suas duas correntes principais, Economia Ecológica e Economia Ambiental, que se diferem quanto à substituibilidade do capital natural. A economia ambiental, que está dentro de uma visão ortodoxa, introduz o meio ambiente em sua análise, levando o problema a uma questão de alocação e de substituição dos fatores de produção. No entanto, a economia ecológica apresenta as questões ambientais de forma mais complexa, tendo como prioridade o equilíbrio da relação homem e natureza, ou seja, a biosfera, defendendo, uma mudança de padrão de consumo no longo prazo.

2.1.1 A contabilidade das emissões

Brock e Taylor (2004) desenvolveram uma relação algébrica ligando as emissões de um determinado poluente a uma medida da atividade econômica, e a sua composição de tecnologias limpas de produção. Ao fazer isso, ilustram que qualquer modelo de crescimento que preveja tanto a renda crescente quanto a queda dos níveis de poluição, precisa trabalhar para reduzir as emissões de poluentes por meio de um dos três canais, que são: escala, composição e técnica. A presente seção ilustra como os economistas formalizam tais conexões. A discussão segue Brock e Taylor (2004).

Considerando um determinado poluente, em que E é a soma total das emissões de poluentes resultantes da produção em todas as indústrias da economia.² Onde a_i corresponde aos quilos de emissões por dólar de produção na indústria i , s_i se refere à participação de valor da indústria i na produção nacional Y . Então, por definição, as emissões totais E são dadas por (BROCK e TAYLOR, 2004):

$$E = \sum_{i=1}^n (a_i s_i Y), \quad \text{onde} \quad E = \sum_{i=1}^n (s_i) = 1. \quad (1)$$

Como essa é uma definição, pode-se diferenciar os dois lados em relação ao tempo para encontrar:

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n (\pi_i [\hat{a}_i + \hat{s}_i] + \hat{Y}), \quad \text{onde} \quad \pi_i = \frac{E_i}{E}, \quad (2)$$

em que \hat{a} sobre x indica $\left[\frac{dx}{dt}\right]/x$. Mudanças nas emissões agregadas podem surgir a partir de três fontes, definidas como os efeitos escala, composição e técnica.

Primeiro, note-se que manter constante as técnicas limpas de produção e a composição da produção final (ou seja, manter ambas $\hat{a}_i = 0$ e $\hat{s}_i = 0$ para todo i) as emissões aumentam ou diminuem proporcionalmente à escala da atividade econômica, medido pelo PIB real ou Y . Este é o efeito de escala do crescimento e, a menos que seja definido por outras mudanças, as emissões aumentam ao passo de aumentos na produção real.

Alternativamente, pode-se manter tanto a escala quanto as técnicas de produção constante para examinar o impacto de mudanças na composição da produção. Para fazer isso, em (2) defina-se $\hat{Y} = 0$ e $\hat{a}_i = 0$ para todos os elementos que isolam o efeito puro da composição das emissões de poluentes.

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n (\pi_i \hat{s}_i). \quad (3)$$

As emissões caem através do efeito puro da composição, ou seja, se uma economia se

² O poluente poderia ser produzido via consumo. Nesse caso, adotamos pesos que refletem a participação da indústria i na demanda final. Isso tem pouco impacto sobre nossos resultados aqui, mas teria alguma relevância em um cenário de economia aberta.

move para produzir um conjunto de bens que são, em média, mais limpos do que o conjunto que eles produziam antes. Para ver por que isso é verdade, observa-se que a alteração nas ações de valor em todos os n setores deve totalizar zero; ou seja, $\sum_{i=1}^n (ds_i) = 0$. Agora, usando este resultado em (3) obtém-se a mudança nas emissões decorrentes de um efeito puro de composição como:

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n (\hat{s}_i [\pi_i - s_i]), \quad (4)$$

dadas as definições, $\pi_i - s_i > 0$ se e somente se $E_i/p_i y_i > E/Y$ (BROCK e TAYLOR, 2004). Em palavras, o elemento $\pi_i - s_i$ é positivo se, e somente se, as emissões da indústria i por dólar de produto forem maiores que a média nacional. Defina-se uma indústria suja como aquela cujas emissões por dólar de produção excedem a média ampla da economia E/Y ; de uma indústria limpa como aquela onde as emissões por dólar de produção são menores que a média da economia. Então, a equação (4) sustenta que as emissões agregadas caem sempre que a composição da produção muda para uma dependência mais pesada das indústrias limpas.

Finalmente, as emissões podem cair quando as técnicas de produção se tornam mais limpas, com a produção e sua composição permanecendo constantes. Para isolar este efeito da técnica, defina-se $\hat{Y} = 0$ e $\hat{s}_i = 0$ para todo i , para descobrir que as emissões caem se as emissões por unidade de produção caírem em todas as atividades. Neste caso, encontra-se:

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n (\pi_i \hat{a}_i). \quad (5)$$

E, portanto, se as técnicas estão ficando mais limpas, as emissões por unidade de produto caem, e as emissões gerais também caem.

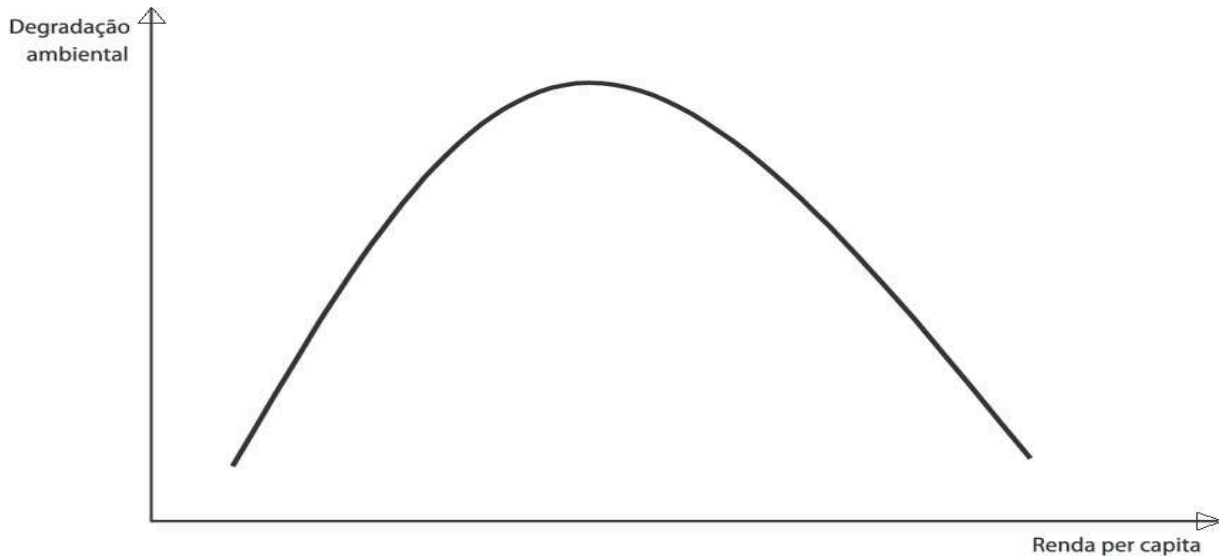
Conforme inicialmente tratado pelos autores que qualquer modelo de crescimento que preveja tanto a renda crescente quanto a queda dos níveis de poluição, precisa trabalhar para reduzir as emissões de poluentes por meio de um dos três canais, ou seja, por meio de escala, composição ou técnica, concluem que: “a queda dos níveis de poluição e o aumento da renda só são possíveis se houver reduções contínuas nas emissões por unidade de produção e se as tecnologias de emissão zero forem possíveis, pelo menos no limite” (BROCK e TAYLOR, 2004, p.8).

Além de Brock e Taylor, outros autores desenvolveram estudos e modelos econômicos para explicar a relação do crescimento econômico aliado com questões ambientais. A partir da contabilidade do crescimento, uma relação econômica pertinente foi explorada pela literatura, chamada de curva de Kuznets ambiental, a qual demonstra que o crescimento inicial da renda *per capita* está diretamente ligado ao aumento da degradação ambiental, e que, ao se atingir dado nível de renda *per capita*, novos aumentos nesta renda iriam diminuir os níveis de degradação ambiental.

2.1.2 A Curva de Kuznets Ambiental - CKA

A Curva de Kuznets Ambiental (CKA) verifica o crescimento econômico e a degradação ambiental, por meio de medidores ambientais e econômicos, como por exemplo, contaminação de bacias hidrográficas por metais pesados e oxigenação das mesmas, poluição atmosférica, em contrapartida a renda *per capita*. Stern *et al.* (1996) demonstra que a curva tem o formato de “U invertido”, ou seja, a degradação ambiental aumenta conforme o nível de renda *per capita* aumenta, até seu ponto de inflexão, evento chamado de “deslocamento”, em que a partir deste ponto o aumento da renda *per capita* reflete uma diminuição da degradação ambiental. Há um descolamento entre a pressão ambiental e atividade econômica, em que se passa a usar cada vez menos recursos naturais na composição de uma unidade de produto.

A CKA passou a ser muito utilizada por autores que defendem e priorizam o crescimento econômico frente ao meio ambiente, trata-se de uma ideia mais próxima a Economia Ambiental. A ideia básica é que o desenvolvimento só causa grandes problemas ambientais em suas etapas iniciais. Porém, a partir de certo ponto, o aumento da renda *per capita* levaria à uma menor degradação ambiental. (ALVES, 2012). Ou seja, o aumento no crescimento e no desenvolvimento econômico teriam duas utilidades, tanto para reduzir as desigualdades sociais, como também no melhoramento do meio ambiente. Assim como demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Curva de Kuznets sobre a degradação ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Apesar de Grossman e Krueger (1995) e Khan (1998) sustentarem a interação tradicional de “U invertido” ou Curva de Kuznets Ambiental (CKA), por meio de evidências empíricas sobre a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, por outro lado têm-se autores que possuem divergências a respeito do assunto. Stock (1998) defende a hipótese de que durante o crescimento econômico tem-se um ponto limite, e que a partir deste ponto, somente será utilizadas tecnologias consideradas “limpas”, e que o formato da CKA será um “V invertido”, tendo o ápice como tal ponto limite. Já Jones e Manuelli (1995), baseados em modelos de geração superpostas, o formato da curva poderia ser crescente ou até senoidal, dependendo das decisões institucionais. Enquanto Brock e Taylor (2004) a curva poderia ser decrescente, quando adaptaram o modelo de crescimento de Solow para os Estados Unidos.

Segundo Taylor (2008), o crescimento econômico degrada o meio ambiente principalmente pela emissão de gases poluentes, causadores do efeito estufa. Esta grande emissão de gases poluentes, dióxido de carbono (CO₂), por exemplo, advém do uso de fontes de energia não renováveis, como petróleo, gás natural, carvão e nuclear. Portanto, para continuar a ter crescimento na renda, mas com diminuição da degradação ambiental, essas fontes de energia devem ser substituídas por fontes “limpas”, consideradas renováveis.

2.2 Fontes de geração de energia

Têm-se no planeta diversas formas de fontes de energia. Essas fontes de energia podem ser renováveis ou não renováveis. Como exemplo de fontes de energias renováveis têm-se a energia solar e a eólica (gerada pela força dos ventos), por outro lado, têm-se as fontes de energias não renováveis, petróleo e carvão mineral, ambos combustíveis fósseis que tem suas reservas limitadas, ou seja, podem se esgotar caso não tem um consumo racional (TOLMASQUIM, 2003).

Segundo Branco (2004), o desenvolvimento energético, ao longo de todos os anos, trouxe junto um elevado custo ambiental. Nos últimos séculos o que se viu foi um aumento na emissão de gases poluentes na atmosfera, poluição de importantes bacias de água, degradação do solo, aumento do efeito estufa, aumento da temperatura média no planeta, entre outros. Porém, nota-se que nos últimos anos surgiu um movimento, ainda tímido, de pessoas e países preocupados com a questão ambiental, tendo em vista que essa mudança tem impacto direto na própria existência humana. Infelizmente, países como China, Estado Unidos e Japão, que estão entre os mais poluentes do mundo, são ao mesmo tempo os menos preocupados com a questão ambiental.

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis. (GOLDEMBERG, 2007, p. 7)

A Tabela 1 mostra o percentual das diferentes fontes de energia à energia total consumida no mundo em 2016.

Tabela 1: Energia primária no mundo em 2016, total e parcelas conforme dados da Agência Internacional de Energia (IEA).

Energia primária				Mundo
Total, ktoe				13852259
Participação das fontes (%)	Não-renováveis	Fósseis	Petróleo	32,4
			Gás natural	21,9
			Carvão	26,9
		Nuclear	4,9	
		Subtotal		
	Renováveis	Tradicionais	Biomassa tradicional	8,5
			Convencionais	Hidráulica
		Modernas, "novas"	Biomassa moderna	1,2
			Outras: solar, eólica etc.	1,6
		Subtotal		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados da IEA.

Nota-se que o mundo, como um todo, possui uma elevada porcentagem na matriz energética vindo de fontes não renováveis, com destaque para os combustíveis fósseis, petróleo, gás natural e carvão, que juntos representam 81,2% do total. Analisando as fontes renováveis, nota-se um paradigma em que possui um elevado percentual de fonte de energia vindo de biomassa, porém, principalmente na produção de energia vinda de biomassa tradicional, queima de lenha. Por outro lado, possui um baixo percentual de biomassa moderna, por exemplo, os biocombustíveis para o transporte.

As fontes energéticas são recursos para se obter energia. Com o uso da energia é possível gerar eletricidade, colocar carros, trens, navios em movimento, por em funcionamento aparelhos e máquinas de fábricas e residências, entre outros. Assim, no planeta Terra tem-se diferentes fontes de energia, que segundo Branco (2004), podem ser divididas em:

- 1) Fontes de energia não renováveis: as fontes de energia pertencentes a esse grupo são esgotáveis ou finitas. Para a maioria delas, a reposição na natureza é muito lenta, pois

resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. Quanto mais usa-se as fontes de energia não renováveis, menos teremos no estoque total.

- a) Fontes fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral): os combustíveis fósseis são formados por processos naturais, como por exemplo, a decomposição de vários organismos soterrados. Esses combustíveis fósseis contêm alta quantidade de carbono (C), usados para alimentar a combustão. Mesmo sendo poluente, e gerando problemas como o aquecimento global, é a matriz energética mais utilizada no mundo. Em 2016, 81,2% do total de geração de energia no mundo, era por meio de fontes fósseis. (IEA, 2016)
 - b) Energia Nuclear: é um tipo de energia liberada quando acontece uma reação nuclear. Isso acontece quando núcleos de determinados átomos se transformam provocando uma fissão, ou divisão do núcleo atômico. O urânio (U) costuma ser muito utilizado na obtenção dessa energia. No ano de 2016, 4,9% da energia mundial era produzida por usinas nucleares. (IEA, 2016)
- 2) Fontes de energia renováveis: as fontes de energia renováveis se repõem naturalmente, mas não quer dizer que elas sejam inesgotáveis, basta olhar os desmatamentos que estão acontecendo para provar.
- a) Hidroelétrica: essa fonte se aproveita dos enormes fluxos de água para fazerem as enormes pás girarem dentro das turbinas. Podem ser de dois tipos, tanto de barragem ou de fio da água, que aproveita o próprio curso do rio. Apenas 2,5% da energia mundial é produzida por essa fonte. (IEA, 2016)
 - b) Biomassa: é capaz de gerar energia através de elementos vivos, como animais e plantas. Um exemplo deste é o Etanol brasileiro que é gerado através da cana-de-açúcar. No mundo, 9,7% da energia produzida advém desta fonte. (IEA, 2016)
 - c) Energia eólica: capaz de transformar a força dos ventos em energia. Utilizam-se grandes “cata-ventos” chamados de aerogeradores, que ao girar produzem eletricidade usando a energia eólica, ou seja, dos ventos.
 - d) Energia solar: a energia vinda do Sol é captada através de painéis solares que possuem células fotovoltaicas, que transformam os raios em energia elétrica ou mecânica.
 - e) Energia geotérmica: é obtida a partir do calor que vem do interior da Terra em áreas com atividades vulcânicas.
 - f) Energia dos mares: é dividida em dois tipos, a ondomotriz (energia das ondas) provém do aproveitamento das ondas oceânicas. Já a maremotriz é uma forma de geração de

eletricidade obtida a partir das alterações das marés, através de barragens ou turbinas submersas que usam a própria corrente marítimas.

Energia eólica, solar, geotérmica e dos mares, ainda representam uma parcela muito pequena do total da produção mundial de energia. Somando essas fontes, elas representam 1,6% do total produzido em 2016. (IEA, 2016)

2.2.1 Matriz energética e matriz elétrica

Para dar sequência ao trabalho, tem-se que entender a diferença entre matriz energética e matriz elétrica. Segundo Goldemberg (2088), a matriz energética representa o conjunto total de fontes de energia disponíveis em um estado, país, ou mundo, para gerar eletricidade, combustíveis utilizados pelos meios de transportes, carro, caminhão, navio, avião, gás utilizado nas cozinhas das casas, lenha para queimar, entre outros. Já a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes de energia disponíveis apenas para geração de energia elétrica, ou seja, a matriz elétrica é uma parte da matriz energética.

Na tabela 2, a seguir, pode-se ver essa diferença em percentuais, da matriz energética e da matriz elétrica no mundo no ano de 2016.

Tabela 2: Matriz Energética e Matriz Elétrica mundial no ano de 2016

Fontes de energia	M. Energética	M. Elétrica
	<i>Não renováveis</i>	
Carvão	26,9%	39,3%
Petróleo	32,4%	4,1%
Gás natural	21,9%	22,9%
Nuclear	4,9%	10,6%
Outras	-	-
	<i>Renováveis</i>	
Biomassa	9,7%	2,2%
Hidráulica	2,5%	16,0%
Outras	1,5%	4,9%
Total	100%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados da IEA.

Quando se trata de matriz energética, o mundo é composto, principalmente, por fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, que correspondem a 81,2% do total. Olhando agora a matriz elétrica, ou seja, apenas fontes de energia utilizadas para a produção de energia elétrica, no mundo, a matriz elétrica segue o padrão da matriz energética, tendo sua maior porcentagem (76,9%) em fontes de energia não renováveis, com destaque para o carvão que representa 39,3%.

2.3 Produtividade do trabalho e crescimento econômico

Quando se fala em produtividade, está se falando a respeito da quantidade de produto obtida em certo conjunto de fatores de produção, geralmente empregados em capital e trabalho. A produtividade pode ser dividida em três dimensões clássicas, a produtividade do capital, a do trabalho e a produtividade total dos fatores, que integra ambos fatores de produção. A produtividade do trabalho está relacionada diretamente com o nível de desenvolvimento dos países, e não é atingida pelas dificuldades técnicas que as outras duas dimensões clássicas possuem. (CUNHA, 2018)

Segundo Pagés (2010), após a revolução industrial, os países desenvolvidos ficaram mais ricos quando a mão de obra migrou da agricultura (de baixa produtividade) para o setor industrial (de elevada produtividade). Para a autora, os países da América Latina tentaram seguir o mesmo caminho dos países desenvolvidos, porém não obtiveram sucesso, pois, junto com a redução do emprego agrícola, teve um aumento do emprego no setor de serviços. Portanto, esse movimento contribuiu para um baixo crescimento da produtividade nesses países, conforme ela fala “*the region’s economies became tertiary (or service-based) halfway along the road from poverty to prosperity*” (PAGÉS, 2010, p. 3).

Baumol (1967) utiliza o crescimento da produtividade do trabalho para desenvolver um modelo de crescimento, este, de acordo com o resultado, pode ser dividido em dois setores: estagnado ou progressivo. O que diferencia ambos é o comportamento desempenhado pela produtividade do trabalho, em que em um setor progressivo o insumo trabalho é um instrumento de produção, enquanto em um setor estagnado o trabalho é tido como produto final. Para deixar mais claro, o autor exemplifica esses dois setores, estagnado e progressivo, como serviços e indústria de transformação, respectivamente. Desse modo, uma mudança na estrutura produtiva de um país pode alterar o comportamento da produtividade total desta economia, devido ao fato de grandes diferenças nos níveis de produtividade do trabalho entre os setores.

2.3.1 Decomposição de Kaya e a relação com a produtividade do trabalho

Para Taylor (2008), o aquecimento global é a consequência de três tendências muito fortes e cada vez mais contraditórias. Em primeiro lugar, a emissão de dióxido de carbono, o principal causador do efeito estufa, é uma consequência direta do uso de combustíveis fósseis como fontes predominantes de energia para uso humano. Em segundo lugar, as pessoas nos países em desenvolvimento querem desesperadamente aumentar seus níveis de renda real *per capita*. Isso requer necessariamente o crescimento da produção real por unidade de trabalho ou produtividade do trabalho. O crescimento da população também entra na equação da expansão da renda geral, mas se tudo correr bem, seus impactos no uso de energia serão menores do que os da renda per capita crescente. Terceiro, historicamente, um fator crucial que apoia o aumento da produtividade do trabalho e a renda *per capita* tem aumentado o uso de energia. Essa é uma ideia antiga, amplamente aceita entre os economistas ecológicos, mas nunca totalmente aceita pelo mainstream profissional. Ela remonta ao movimento energético da última metade do século XIX (Martinez-Alier e Schlpmann, 1991), mas não aprofunda muito além disso.

Para explicar o efeito estufa, causado pela emissão de gases poluentes, Taylor (2008) utiliza a Identidade de Kaya (6) para demonstrar a relação entre a emissão desses gases poluentes com o aumento da população, da produtividade por trabalhador, da energia por unidade de produto e da emissão de poluentes por energia gasta.

$$B \equiv N \cdot \frac{X}{N} \cdot \frac{E}{X} \cdot \frac{B}{E}, \quad (6)$$

em que:

B significa a emissão de gases poluentes;

N significa o aumento da população trabalhadora;

X significa a produtividade;

E significa a energia utilizada na produção.

Portanto, a Identidade de Kaya (6) demonstra que um aumento da população (N), ou um aumento na produtividade por trabalhador (X/N), ou um aumento na energia por unidade de produto (E/X), levaria a um aumento na emissão de gases poluentes (B), principais

causadores do efeito estufa.

Portanto, para gerar crescimento econômico e equiparar os níveis de bem estar dos países desenvolvidos, os países em desenvolvimento precisam elevar sua produtividade do trabalho. Taylor (2008) decompõe a equação (6) para analisar a produtividade do trabalho (7).

$$\frac{X}{N} \equiv \frac{E}{N} \cdot \frac{X}{E} , \quad (7)$$

em que:

X significa a produtividade;

N significa número de trabalhadores;

E significa a energia utilizada na produção.

Assim, o autor constata que para gerar um aumento na produtividade do trabalho, deve-se ter um aumento de energia gasta por trabalhador (E/N), ou um aumento da produção por energia (X/E). Se assim, de fato, elevar a produtividade do trabalho (X/N), este terá um impacto positivo na equação (6), e conseqüentemente um aumento na emissão de gases poluentes (B).

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

O presente capítulo descreve o delineamento, os métodos e as técnicas de pesquisa utilizadas para organização do trabalho científico. Além desta organização, o capítulo tece breves considerações sobre o referencial teórico e as formas de operacionalização do estudo.

Neste trabalho utiliza-se o método indutivo como forma de pesquisa e raciocínio, partindo de premissas individuais, com o objetivo de atingir a generalização. A finalidade do indutivíssimo é alcançar conclusões mais amplas que o método de premissas (MARCONI; LAKATOS, 2003). Neste método, tais alegações chegam a conclusões prováveis, mas não sendo obrigatoriamente verdadeiras, ao contrario do que acontece no método por dedução. O método indutivo é definido em três fases: observação dos fatos; a constatação de relação entre eles; e a generalização da relação. Além do mais, é preciso ter certo cuidado como, verificar se é essencial a relação que se pretende generalizar, se os fenômenos são idênticos e possuem o peso relevante a ele na hora de pondera-lo, sob a perspectiva quantitativa (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Junto ao método indutivo, este trabalho adota como nível de complexidade a pesquisa descritiva, ou seja, aquela que:

[...] têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis [...] uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados. (GIL, 2008, p. 28).

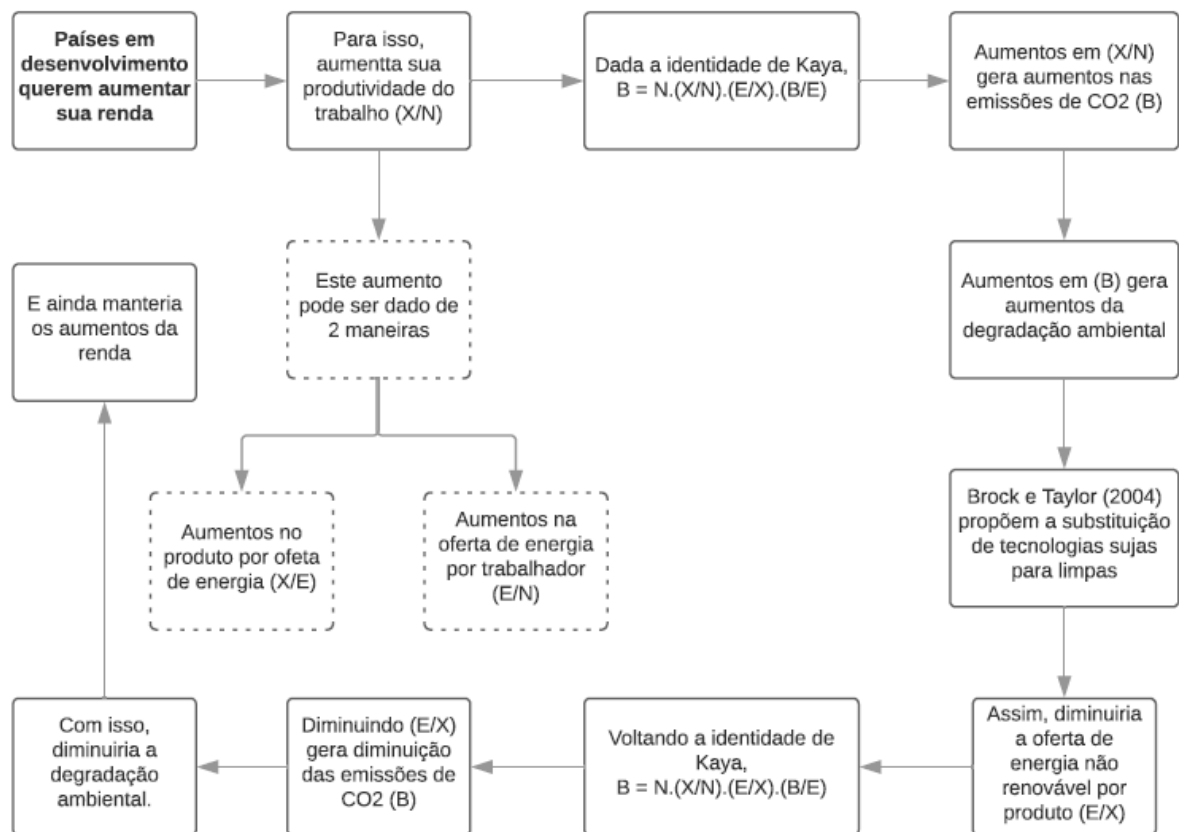
Esta monografia tem como característica a aplicação do conhecimento em uma realidade definida, diferentemente de uma pesquisa pura, que possui objetivos distintos que são o desenvolvimento de teorias universais e o progresso da ciência. Para essa aplicação, serão usados métodos quantitativos, por meio da utilização de dados para a construção de uma análise estatística. Portanto, a pesquisa é do tipo quantitativa.

Quanto às técnicas utilizadas, o presente trabalho iniciou com uma pesquisa bibliográfica nas áreas de economia do meio ambiente e crescimento econômico, para o aprofundamento do material já existente sobre tema. Posteriormente, foi realizado um levantamento de dados secundários em algumas fontes, tais como Banco Mundial, Extend Penn World Table e International Energy Agency (IEA). Em seguida, foi aplicado uma análise estatística para a viabilização da terceira técnica empregada, que será a construção de um modelo estatístico para ver a relação dos países que utilizam diferentes tipos de energias, renováveis e não renováveis, com a produtividade do trabalho de cada país.

3.1 Referencial Teórico

A fim de melhor entender a identidade de Kaya, estudada por Taylor (2008), tem-se na Figura 2 um fluxograma relacionando o crescimento econômico, advindo do aumento da produtividade do trabalho, e seus impactos no aumento das emissões de gases poluentes, e uma proposta de Brock e Taylor (2004) para diminuir tais emissões de gases poluentes, porém, mantendo crescimento da renda.

Figura 2: Fluxograma da identidade de Kaya.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Figura 2 demonstra como é o funcionamento da identidade de Kaya e sua decomposição. Por primeiro, um país em desenvolvimento deseja aumentar seus níveis de renda, para isso a literatura sugere que se aumente a produtividade do trabalho (X/N). Este aumento da produtividade do trabalho pode se dar de duas maneiras: com aumentos no produto pela oferta de total de energia (X/E), ou por aumentos na oferta total de energia por trabalhador (E/N). Porém, neste ponto existe um *trade off*, em que, se quer um aumento na produtividade do trabalho, mas este aumento teria efeito positivo no aumento das emissões de

gases poluentes (CO₂), segunda a identidade de Kaya (6). O que geraria aumentos na degradação ambiental.

Portanto, para reverter este quadro, Brock e Taylor (2004) demonstram que deve haver uma substituição de uso de energia, de fontes não renováveis, “suja”, para fontes renováveis, “limpas”, o que causaria a redução contínua de energia não renovável por produto (E/X), o qual teria efeito negativo nas emissões de gases poluentes (B). Senso assim, possível a queda dos níveis de poluição, juntamente, com aumentos na renda.

3.2 Formas de operacionalização da pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa deste trabalho, foram selecionados uma amostra de 42 países, sendo 11 países da Ásia, 9 da África, 9 da América Latina, 8 da Europa, 3 da América do Norte e 2 da Oceania. Para todos os países foram coletados dados num período de 20 anos, de 1995 a 2014, e montada uma planilha eletrônica com os seguintes dados, população; número de trabalhadores; emissão de quilogramas de CO₂; estoque de capital com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011; produtividade do trabalho com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011; Produto Interno Bruto; oferta total de energias não renováveis (carvão, petróleo, gás natural e nuclear); oferta total de energias renováveis (hidroelétrica, biomassa, geotérmica, solar).

Com os dados ao longo do tempo, pode-se fazer gráficos com o uso de estatísticas descritivas, e gráficos de associação entre variáveis. Também fez-se correlações entre diferentes variáveis e países. Segundo Lira (2004), o coeficiente de correlação (R) é um grau de relação entre duas variáveis quantitativas e demonstra o grau de correlação através de valores situados entre -1 e 1. Quando o coeficiente de correlação se aproxima de 1, nota-se um aumento no valor de uma variável quando a outra também aumenta, ou seja, há uma relação linear positiva. Quando o coeficiente se aproxima de -1, também é possível dizer que as variáveis são correlacionadas, porém nesse caso quando o valor de uma variável aumenta o da outra diminui, ou seja, uma correlação negativa ou inversa. Um coeficiente de correlação próximo de zero indica que não há relação entre as duas variáveis.

Em seguida, foi utilizada a identidade de Kaya (6) para analisar as taxas de crescimento das emissões de CO₂, com suas respectivas variáveis, taxa de crescimento da população trabalhadora, do produto por trabalhador, da oferta de energia por produto, das emissões de gases poluentes por oferta de energia. E também sua decomposição (7) para analisar a taxa de crescimento da produtividade do trabalho, com suas variáveis, taxa de

crescimento do produto pela oferta de energia, e da oferta de energia por trabalhador.

Para explicar o efeito estufa, causado pela emissão de gases poluentes, Taylor (2008) utiliza a Identidade de Kaya (6) para demonstrar a relação entre a emissão desses gases poluentes com o aumento da população, da produtividade do trabalho, da energia por unidade de produto e da emissão de poluentes por energia gasta. Pode-se reescrever a Identidade de Kaya (6) utilizando suas respectivas taxa de crescimento:

$$gB \equiv gN + g \frac{X}{N} + g \frac{E}{X} + g \frac{B}{E} , \quad (9)$$

Em que:

gB significa a taxa de crescimento das emissões de gases poluentes (CO₂);

gN significa a taxa de crescimento da população trabalhadora;

gX/N significa a taxa de crescimento do produto por trabalhador;

gE/X significa a taxa de crescimento da oferta de energia³ por produto;

gB/E significa a taxa de crescimento das emissões de gases poluentes por oferta de energia.

Taylor (2008) decompõe a equação (6) para analisar a produtividade do trabalho (7), como seu crescimento pode afetar o crescimento das emissões de CO₂. Pode-se reescrever a equação (7) em relação à taxa de crescimento.

$$g \frac{X}{N} \equiv g \frac{E}{N} + g \frac{X}{E} , \quad (10)$$

Em que:

gX/N significa a taxa de crescimento do produto por trabalhador (produtividade do trabalho);

gX/E significa a taxa de crescimento do produto pela oferta de energia⁴;

gE/N significa a taxa de crescimento da oferta de energia por trabalhador.

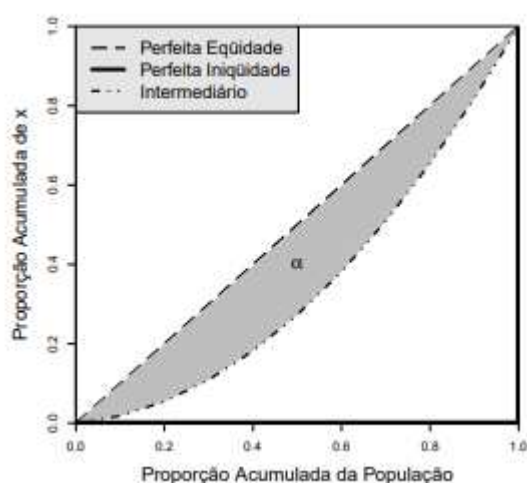
³ Utiliza-se apenas a oferta de energia não renovável (OTEnr), considerando que a oferta de energia renovável (OTEr) não emite gases poluentes (CO₂).

⁴ Utiliza-se agora a oferta total de energia (OTE), ou seja, a soma da oferta de energia não renovável (OTEnr) com a oferta de energia renovável (OTEr).

Assim, um aumento na taxa de crescimento da oferta de energia por trabalhador (gE/N), ou um aumento da taxa de crescimento da produção por energia (gX/E), geraria um aumento da taxa de crescimento da produtividade do trabalho (gX/N) e conseqüentemente um aumento na emissão de gases poluentes (B).

Por fim, uma técnica estatística para medir a desigualdade na distribuição de diferentes variáveis, econômicas e ambientais, por certo número de países ao longo do tempo, será utilizado o Índice de Gini. Hoffmann (1998) demonstra que a área compreendida entre a linha de perfeita equidade e a curva de Lorenz (intermediário) é a área de desigualdade, indicada por α na Figura 3.

Figura 3: Curva de Lorenz



Fonte: HOFFMANN, Distribuição de Renda, Medidas de Desigualdade e Pobreza. 1998.

Tendo como valor máximo de α igual a 0,5. Portanto o índice de Gini (G) é denido como o quociente entre a área de desigualdade α e o valor deste limite:

$$G = \frac{\alpha}{0,5} = 2 \alpha \quad (8)$$

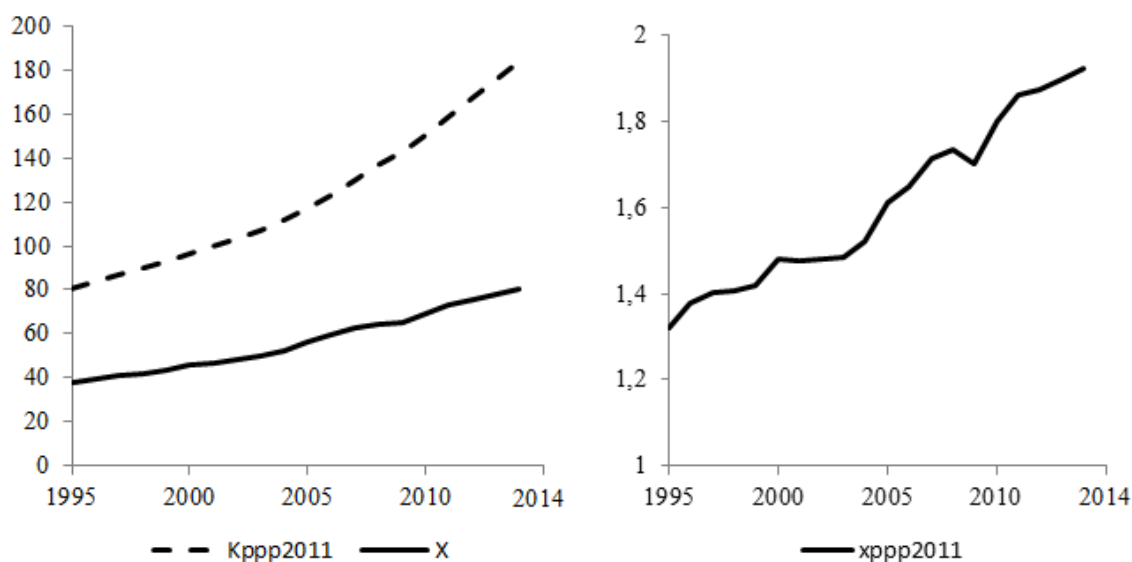
O índice de Gini pode variar entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de zero menor é desigualdade, ou seja, há uma melhor distribuição dos fatores analisados. Por outro lado, quanto mais próximo de um, maior a concentração de certo fator num país, ou seja, maior é a desigualdade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente seção analisa e discute os principais resultados de pesquisa, enfatizando os resultados estatísticos propostos. Inicialmente, o capítulo aborda uma descrição global, tanto das variáveis econômicas, quanto das variáveis ambientais. Neste presente trabalho, os dados globais são referentes aos 42 países selecionados.

A Figura 4 apresenta os valores do Produto Interno Bruto (PIB) em bilhões de US\$, referente à amostra global, representada por X; do estoque de capital em bilhões de US\$, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, representado por Kppp2011; e da produtividade do trabalho em US\$, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, representado por xppp2011.

Figura 4: Estoque de capital (em trilhões de US\$), PIB (em trilhões de US\$), e produtividade do trabalho (em milhões de US\$) de 1995 a 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial.

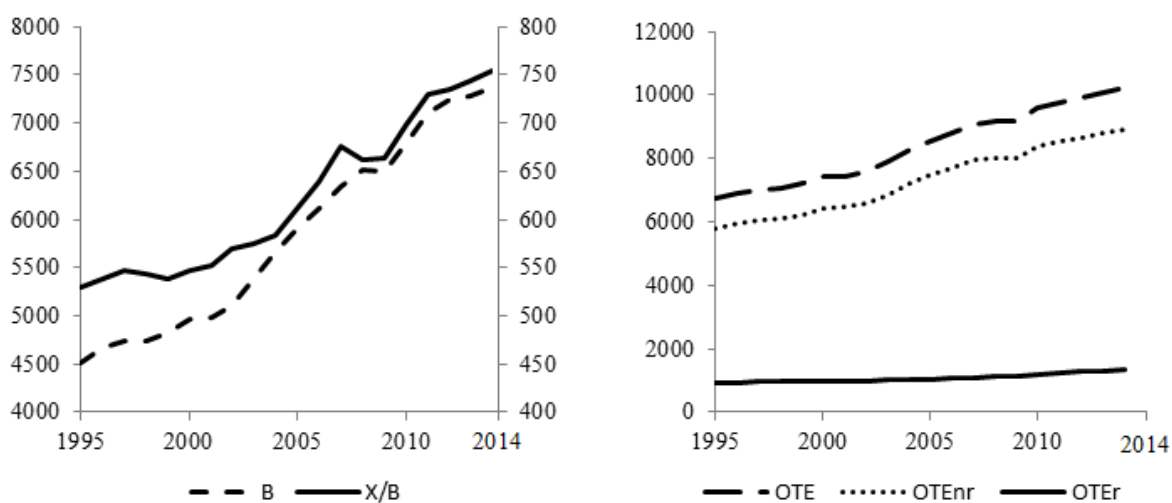
Nota-se que ao longo dos 20 anos analisados, o produto, o estoque de capital e a produtividade do trabalho aumentaram, tendo suas médias de crescimento de 4,07% a.a., 4,43% a.a., 2,01% a.a., respectivamente. Porém observa-se uma queda na produtividade do trabalho no período de crise, nos anos 2008 e 2009.

Verificou-se também a correlação entre essas variáveis. A correlação não sugere que o crescimento de uma foi necessariamente pelo crescimento de outra, porém se observa um coeficiente de correlação bem alto quando comparamos o crescimento das variáveis.

Entre o produto e o estoque de capital com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, o coeficiente de correlação (R) é de 0,9951, muito próximo do valor máximo 1, ou seja, tem-se um relação linear positiva. O mesmo acontece quando se observa a relação entre a produto e a produtividade do trabalho com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, que possui o coeficiente de correlação igual a 0,9963.

Tendo como foco agora as variáveis ambientais, na mesma perspectiva global, que são os 42 países selecionados, a Figura 5 apresenta os valores de emissões de dióxido de carbono expresso em quilogramas de CO₂, representado por B; oferta total de energia em toneladas de toe⁵, representado por OTE; oferta total de energia não renovável (soma das fontes de petróleo, carvão, gás natural e nuclear) em toneladas de toe, representado por OTE_{nr}; oferta total de energia renovável (soma das fontes de hidroelétricas, geotérmicas, solar, biomassa, etc.) em toneladas de toe, representado por OTE_r; produção por emissão em US\$/Kg de CO₂, denotado por X/B.

Figura 5: Emissão de CO₂ (B), oferta total de energia (OTE), não renovável (OTE_{nr}) e renovável (OTE_r), e produção por emissão (X/B) de 1995 a 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

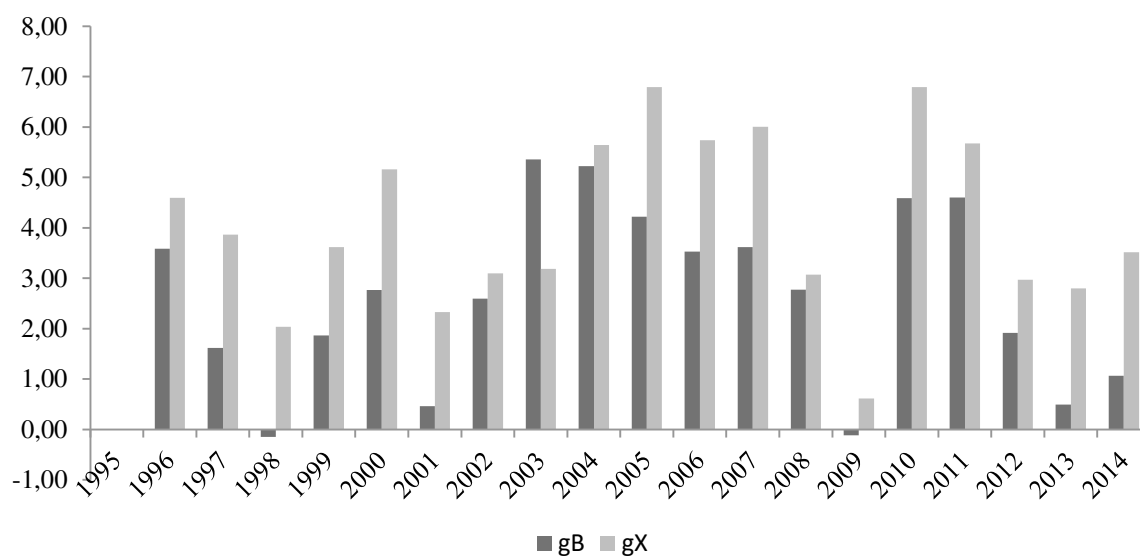
Observa-se, que ao longo dos 20 anos, a amostra global teve aumentos em todas as variáveis, tanto as emissões de CO₂ (B), oferta total de energia (OTE), oferta total de energia não renovável (OTE_{nr}), oferta total de energia renovável (OTE_r) e produção por emissão

⁵ toe é o acrônimo para “Tonne of Oil Equivalent” e corresponde a uma medida de energia. Esta medida corresponde à energia equivalente à queima de uma tonelada (7,33 barris) de petróleo bruto.

(X/B), tiveram em média, respectivamente aumentos de 2,63% a.a., 2,26% a.a., 2,30% a.a., 1,97% a.a., e 1,89% a.a.. Ao longo dos anos, teve-se aumento tanto na oferta de energias não renováveis quanto nas renováveis, porém suas parcelas nas ofertas totais de energia se mantiveram praticamente inalteradas, em torno de 87% de fontes não renováveis e 13% de fontes renováveis. Isso indica que, embora a oferta de energia limpa esteja aumentando, não há um processo de substituição de energia suja por limpa, pois porque a primeira está crescendo tanto quanto a suja.

Ao comparar a evolução do crescimento do produto (X) na Figura 4, e a evolução do crescimento das emissões de CO₂ (B), na Figura 5, nota-se um elevado coeficiente de correlação entre as duas variáveis, tendo o resultado de 0,996, ou seja, uma relação linear positiva. Na Figura 6 pode-se observar essa relação, em que gX representa a taxa de crescimento do produto (X) ano a ano, e gB representa a taxa de crescimento das emissões de CO₂ ano a ano, ambos em porcentagem.

Figura 6: Crescimento das emissões de CO₂ e do produto de 1995 a 2014.



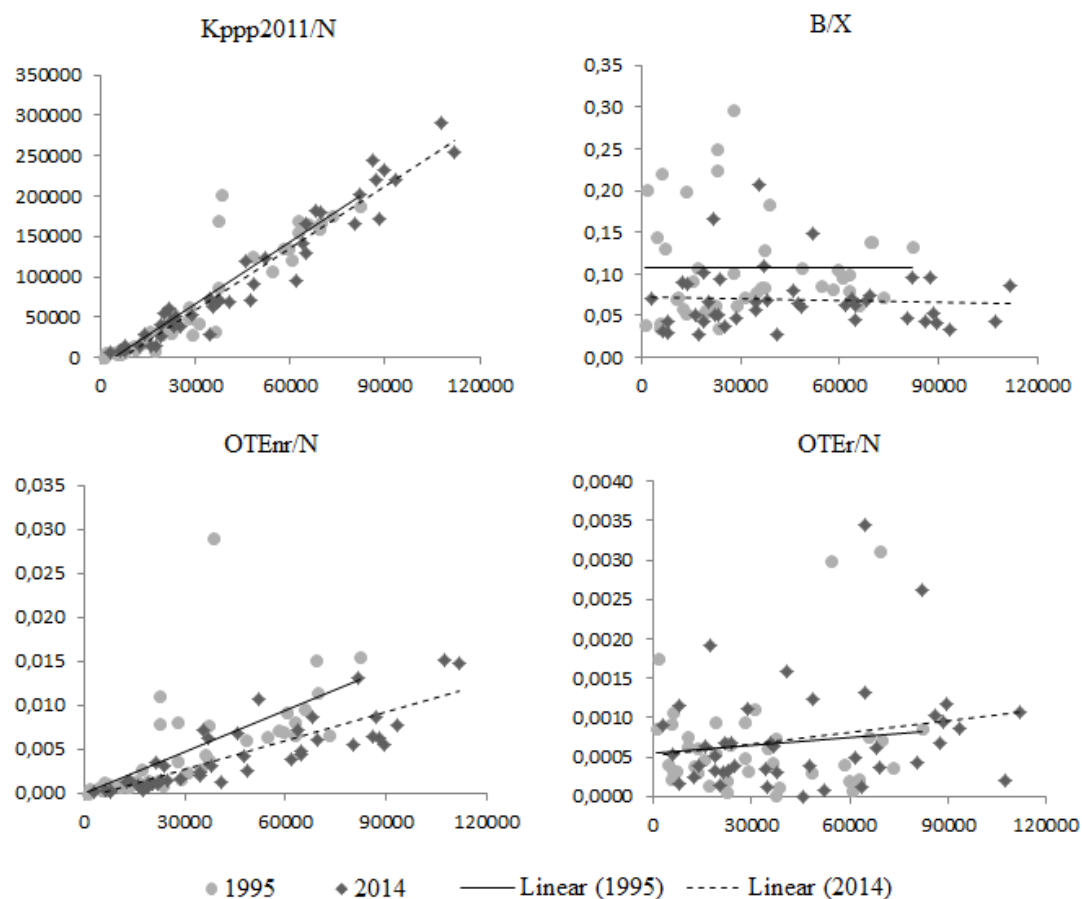
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial.

Na Figura 6, percebe-se que nos 20 anos observados, com exceção os anos de 1998, 2003 e 2009, teve-se taxas de crescimento do produto (gX) positivas e maior do que as taxas de crescimento das emissões (gB), também positivas ($gX > gB$). Ou seja, ambas as variáveis aumentaram, porém o produto (X) cresceu mais, percentualmente, do que as emissões de CO₂ (B) nos anos. A literatura chama esse fenômeno de *decoupling* relativo.

Já nos anos de 1998 e 2009, as taxas de crescimento do produto (gX) foram positivas, enquanto as taxas de crescimento das emissões de CO₂ (gB) foram negativas, ou seja, nesses anos o produto (X) cresceu e as emissões de CO₂ diminuíram, processo conhecido como *decoupling* absoluto. O ano de 2003 foi o único ano que apresentou uma taxa de crescimento do produto (gX) menor do que a taxa de crescimento das emissões de CO₂ (gB), o que demonstra uma piora da degradação ambiental, não compensada pelo aumento do produto, neste ano.

Para melhor analisar a evolução de diferentes variáveis, econômicas e ambientais, ao longo do tempo, faz-se dois cortes no tempo, 1995 e 2014. Na Figura 7 tem-se a produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011 ($x_{ppp2011}$), no eixo das abscissas, em relação com 4 variáveis no eixo das ordenadas: estoque de capital, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, por trabalhador ($K_{ppp2011/N}$); emissões de CO₂ pelo produto (B/X); oferta total de energia não renovável por trabalhador ($OTEnr/N$); oferta total de energia renovável por trabalhador ($OTEr/N$).

Figura 7: Estoque de capital por trabalhador; emissões de CO2 pelo produto; oferta total de energia não renovável e renovável por trabalhador; em relação à produtividade do trabalho em 1995 e 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

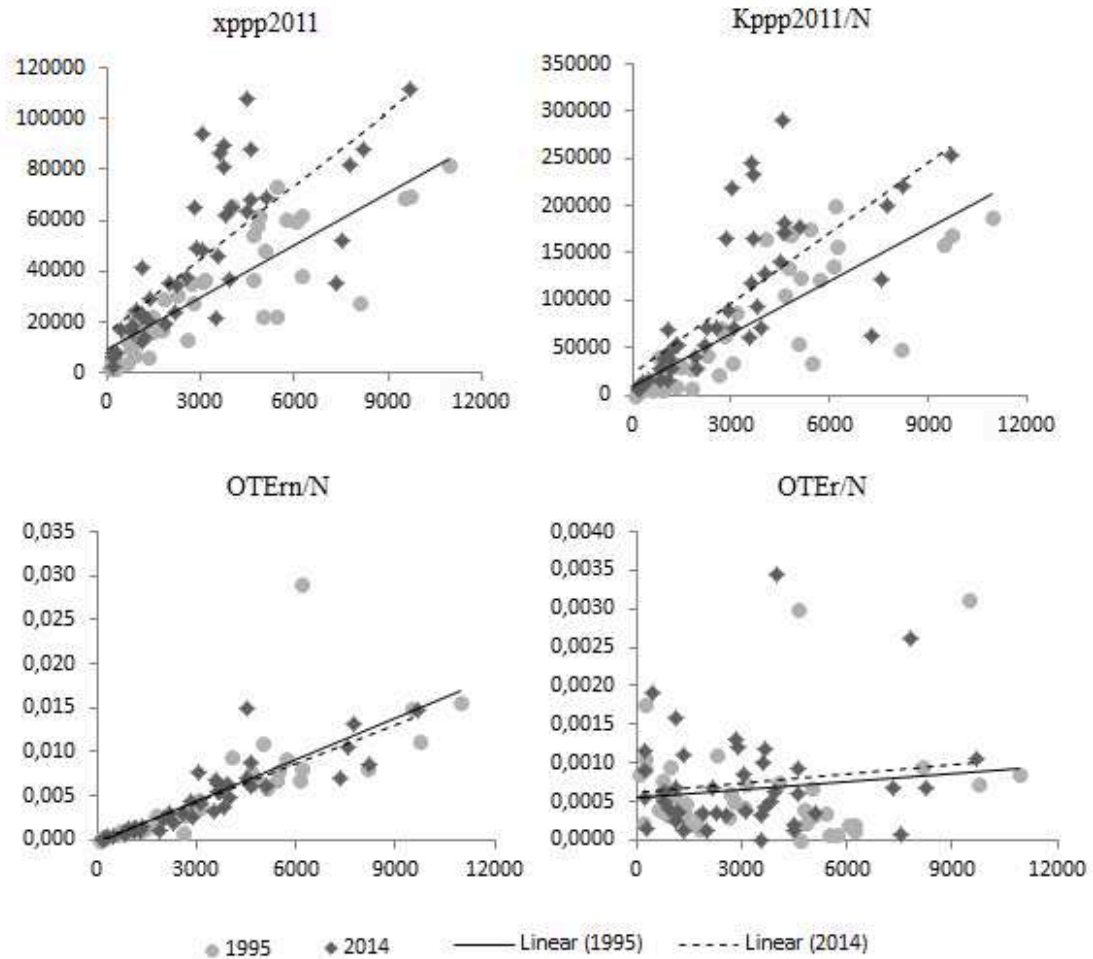
Observa-se a mudança que teve nesses 20 anos. O estoque de capital, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, por trabalhador ($K_{ppp2011}/N$) em relação à produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011 ($x_{ppp2011}$), em ambos os anos, esta relação foi linear e positiva. A Linear (2014) se apresenta um pouco abaixo da Linear (1995), o que indica que com uma mesma quantidade de estoque de capital, entrega mais produtividade do trabalho em 2014 do que em 1995, porém a mudança é bem sucinta.

Comparando as emissões de CO2 pelo produto (B/X) em relação à produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011 ($x_{ppp2011}$), a Linear (2014) está bem abaixo da Linear (2015), o que aponta uma melhora em fatores ambientais, em média, pois com uma mesma quantidade de produtividade do trabalho, se emite menos CO2 por produto em 2014, do que em 1995. Analisando as ofertas totais de energia, tanto não

renováveis e renováveis, houve uma melhora em quesitos ambientais, pois a Linear (2014) da oferta total de energia não renovável por trabalhador (OTEnr/N) está abaixo da Linear (1995), e a Linear (2014) da oferta total de energia renovável por trabalhador (OTEr/N) está acima da Linear (1995), ou seja, com uma mesma quantidade de produtividade de trabalho, em 2014 a oferta total de energia não renovável por trabalhador (OTEnr/N) foi menor do que em 1995 e ao mesmo tempo a oferta total de energia renovável por trabalhador (OTEr/N) foi maior do que em 1995.

Após fazer um comparativo das variáveis, econômicas e ambientais, em relação a produtividade do trabalho, a Figura 8 tem-se a emissões de CO2 por trabalhador (B/N), no eixo das abscissas, em relação com 4 variáveis no eixo das ordenadas: produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011 (xppp2011); estoque de capital, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, por trabalhador (Kppp2011/N); oferta total de energia não renovável por trabalhador (OTEnr/N); oferta total de energia renovável por trabalhador (OTEr/N); nos anos de 1995 e 2014.

Figura 8: Produtividade do trabalho; estoque de capital por trabalhador; oferta total de energia não renovável e renovável por trabalhador; em relação às emissões de CO2 por trabalhador em 1995 e 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

Comparando os anos de 1995 e 2014, nota-se que a Linear (2014), tanto da produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011 (xppp2011), quanto do estoque de capital, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, por trabalhador (Kppp2011/N), estiveram acima da Linear (1995), ou seja, com uma mesma quantidade de emissões de CO2 por trabalhador (B/N), teve-se maior produtividade do trabalho (xppp2011) e estoque de capital por trabalhador (Kppp2011/N) em 2014 do que em 1995, uma melhoria no aspecto econômico em ambiental. Observando as ofertas totais de energias, não renováveis e renováveis, por trabalhador, enquanto a Linear (2014) da oferta total de energia não renovável por trabalhador (OTEnr/N) ficou um pouco abaixo da sua Linear (1995), por outro lado, a Linear (2014) da oferta total de energia renovável por trabalhador (OTEr/N) ficou um pouco acima da sua Linear (1995), demonstrando que com

uma mesma quantidade de emissões de CO₂ por trabalhador (B/N), teve-se menos oferta de energia não renovável por trabalhador (OT_{Enr}/N) e mais oferta de energia renovável por trabalhador (OT_{Er}/N), ou seja, uma também melhoria no aspecto ambiental ao longo dos 20 anos.

Esta elevada emissão de dióxido de carbono (CO₂), proveniente, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, é o principal causador do efeito estufa em nosso planeta. Para explicar o efeito estufa, causado pela emissão de gases poluentes, Taylor (2008) utiliza a Identidade de Kaya (6) para demonstrar a relação entre a emissão desses gases poluentes com o aumento da população, da produtividade do trabalho, da energia por unidade de produto e da emissão de poluentes por energia gasta.

Utilizando a equação (9), que representa a identidade de Kaya (6) reescrita de acordo com as taxas de crescimento, pode-se construir a Tabela 3 que demonstra a taxa de crescimento das emissões de CO₂ (gB), para os 42 países selecionados e para o agregado global, e suas respectivas taxas de crescimento da população (gN), do produto por trabalhador (gX/N), da oferta de energia por produto (gE/X) e das emissões de CO₂ pela oferta de energia (gB/E).

Tabela 3: Taxa média de crescimento, entre 1995 e 2014, das emissões de CO₂ (gB), da população (gN), do produto por trabalhador (gX/N), da oferta de energia por produto (gE/X) e das emissões de CO₂ pela oferta de energia (gB/E).

País	gB	gN	gX/N	gE/X	gB/E
Algeria	2,135	3,498	1,123	-1,710	-0,715
Argentina	2,360	2,291	1,373	-1,767	0,488
Australia	1,249	2,105	1,037	-2,409	0,566
Bangladesh	6,001	2,895	1,816	0,907	0,272
Bolivia	3,710	2,534	3,047	-1,472	-0,376
Brazil	3,656	1,873	2,278	-0,435	-0,082
Cameroon	2,556	3,518	0,439	-1,454	0,093
Canada	0,696	1,699	0,817	-1,473	-0,320
Chile	3,469	2,279	2,125	-1,911	0,988
China	5,820	0,823	6,449	-1,019	-0,388
Colombia	1,735	2,465	1,322	-1,654	-0,360
Egypt	3,802	3,264	3,726	-4,545	1,524
France	-0,702	0,697	1,858	-2,791	-0,409
Germany	-0,909	0,564	1,749	-3,002	-0,161
Greece	-0,783	-0,294	1,759	0,147	-2,355
India	5,204	1,803	5,947	-1,715	-0,758
Indonesia	3,689	1,659	3,658	-3,140	1,587
Iran	4,430	2,750	4,340	-2,676	0,086
Israel	1,179	2,731	0,498	-0,396	-1,609
Italy	-1,466	0,387	0,930	-1,899	-0,867
Jamaica	-1,056	0,498	1,863	-0,888	-2,481
Japan	0,128	-0,135	0,640	-1,074	0,707
Kenya	3,238	2,946	1,198	-7,172	6,753
Mexico	1,851	2,287	1,598	-2,424	0,441
Morocco	3,451	3,826	-0,580	-1,278	1,517
Mozambique	10,643	2,649	4,787	6,629	-3,531
NewZealand	1,232	1,992	0,847	-2,188	0,623
Nigeria	5,065	2,520	13,340	-12,944	3,865
Pakistan	3,444	3,013	2,168	-1,448	-0,268
Peru	4,864	2,530	3,119	-0,435	-0,385
Philippines	2,809	1,746	1,916	-2,383	1,566
Portugal	-0,702	-0,218	2,713	-2,027	-1,109
Singapore	1,461	3,077	5,916	-8,625	1,708
SouthAfrica	1,519	2,051	1,291	-1,954	0,168
Spain	-0,160	1,211	1,926	-2,436	-0,802
Thailand	3,428	1,136	2,199	1,913	-1,812
Tunisia	3,074	1,884	0,850	0,210	0,105
Turkey	3,557	1,705	2,944	-1,280	0,193
UnitedKingdom	-1,234	0,945	1,474	-3,926	0,361
UnitedStates	0,117	0,744	1,518	-1,755	-0,360
Uruguay	1,944	0,358	2,739	-1,104	-0,024
Venezuela	1,656	2,899	2,424	-5,073	1,610
Global	2,486	1,392	2,431	-1,617	0,302

Fonte: Elaboro pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

Como se trata de uma identidade, a soma das taxas de crescimento da população (gN), do produto por trabalhador (gX/N), da oferta de energia por produto (gE/X) e das emissões de CO₂ pela oferta de energia (gB/E), deve ser igual a taxa de crescimento das emissões de CO₂ (gB). Portanto, ao observar-se países com taxas de crescimento de emissões de CO₂ positivas

($g_B > 0$), por exemplo o Brasil, o aumento das emissões é devido ao aumento da população (N) e do aumento do produto pela população (X/N), mesmo tendo diminuído suas taxas de oferta de energia não renovável por produto ($g_{E/X}$) e das emissões de CO₂ pela oferta de energia não renovável ($g_{B/E}$). Por outro lado, tem-se países que nos 20 anos, de 1995 a 2014, em média tiveram taxas negativas de crescimento das emissões de CO₂ ($g_B < 0$), na grande maioria europeus, como exemplo a Alemanha, que teve aumentos na população (N) e no produto pela população (X/N), porém teve grande queda na oferta de energia não renovável por produto (E/X) e nas emissões de CO₂ pela oferta de energia não renovável (B/E). Países como Bangladesh e Tunísia, tiveram crescimento positivo em todas as variáveis, o que impactou numa elevada taxa de crescimento das emissões de CO₂.

Utilizando a equação (10), que representa as taxas de crescimento da decomposição da identidade de Kaya, pode-se construir a Tabela 4 que demonstra a taxa de crescimento da produtividade do trabalho ($g_{X/N}$), para os 42 países selecionados e para o agregado global, e suas respectivas taxas de crescimento de produto pela oferta de energia ($g_{X/E}$) e da oferta de energia por trabalhador ($g_{E/N}$).

Tabela 4: Taxa média de crescimento, entre 1995 e 2014, da produtividade do trabalho (gX/N), do produto pela oferta de energia (gX/E) e da oferta de energia por trabalhador (gE/N).

País	X/N	X/E	E/N
Algeria	1,123	1,745	-0,611
Argentina	1,373	1,805	-0,424
Australia	1,037	2,400	-1,330
Bangladesh	1,816	0,810	0,998
Bolivia	3,047	2,081	0,946
Brazil	2,278	0,903	1,363
Cameroon	0,439	2,828	-2,324
Canada	0,817	1,528	-0,701
Chile	2,125	1,837	0,283
China	6,449	1,814	4,553
Colombia	1,322	2,028	-0,692
Egypt	3,726	4,784	-1,010
France	1,858	2,726	-0,844
Germany	1,749	2,494	-0,727
Greece	1,759	-0,234	1,997
India	5,947	3,121	2,741
Indonesia	3,658	3,291	0,355
Iran	4,340	2,757	1,540
Israel	0,498	0,457	0,042
Italy	0,930	1,212	-0,279
Jamaica	1,863	1,028	0,826
Japan	0,640	0,959	-0,316
Kenya	1,198	1,387	-0,187
Mexico	1,598	2,639	-1,014
Morocco	-0,580	1,320	-1,876
Mozambique	4,787	4,290	0,476
NewZealand	0,847	1,456	-0,600
Nigeria	13,340	13,167	0,153
Pakistan	2,168	2,275	-0,105
Peru	3,119	1,268	1,828
Philippines	1,916	2,648	-0,713
Portugal	2,713	1,617	1,079
Singapore	5,916	9,387	-3,173
SouthAfrica	1,291	2,083	-0,775
Spain	1,926	2,024	-0,097
Thailand	2,199	-1,373	3,621
Tunisia	0,850	-0,102	0,953
Turkey	2,944	1,694	1,229
UnitedKingdom	1,474	3,745	-2,189
UnitedStates	1,518	1,709	-0,189
Uruguay	2,739	-0,265	3,012
Venezuela	2,424	5,149	-2,591
Global	2,431	1,687	0,732

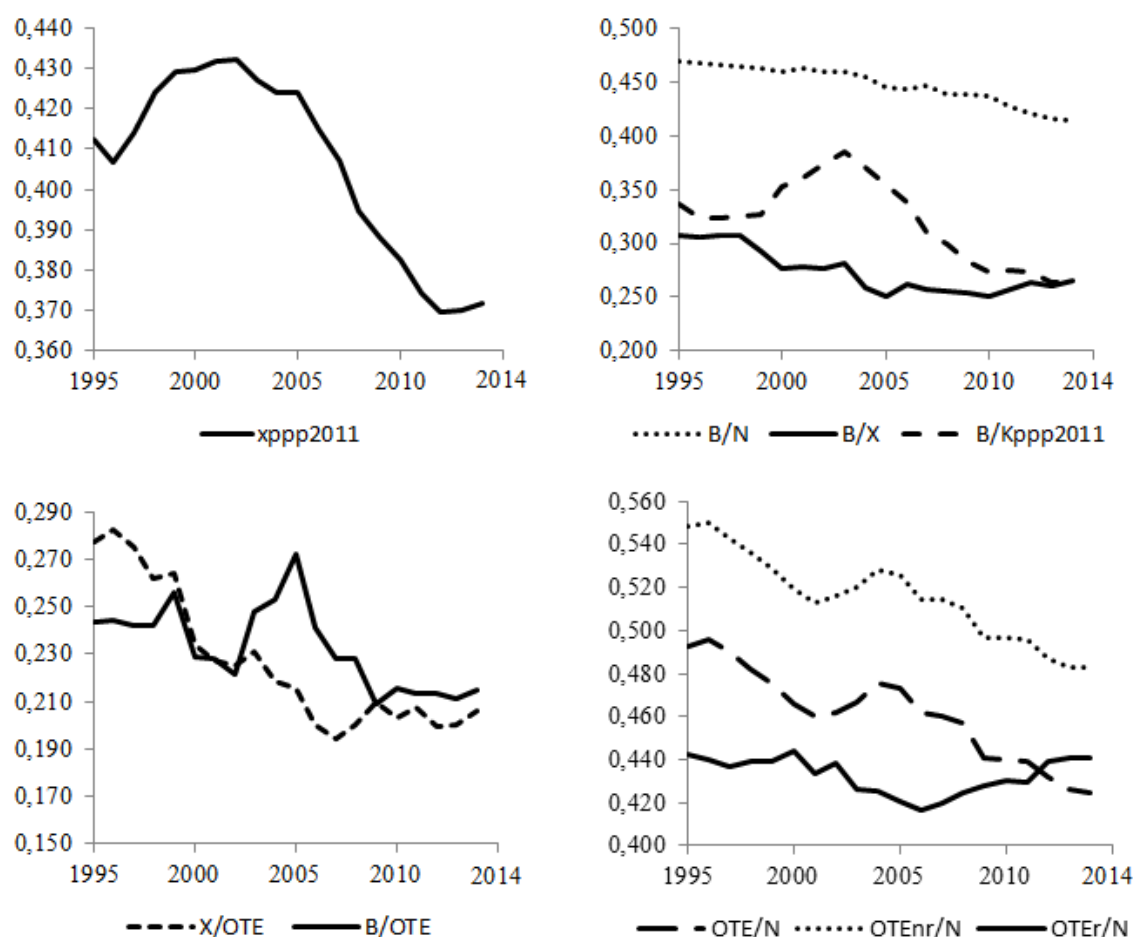
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

Verifica-se que para todos os 42 países analisados, com exceção de Marrocos, a produtividade do trabalho, em média, ao longo dos 20 anos de 1995 a 2014, tiveram taxa de crescimento positiva, ou seja, $gX/N > 0$, o que implica em aumentos na taxa de crescimento das emissões de CO₂ (gB). Bangladesh, China, Grécia, Tailândia e Uruguai tiveram seus

aumentos na taxa de produtividade do trabalho puxado por aumentos na taxa de crescimento de energia por trabalhador. Nos demais países, o aumento se deu por aumentos na taxa de crescimento do produto por oferta de energia.

Ao analisar o resultado das duas tabelas anteriores, notam-se desigualdades entre os países em relação às variáveis econômicas e ambientais. Portanto, na Figura 9 tem-se o Índice de Gini, ao longo dos 20 anos, de 1995 a 2014, para as variáveis.

Figura 9: Índice de Gini de 1995 a 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018, a partir de dados do Banco Mundial e da IEA.

Ao analisar o índice de Gini, que mede a desigualdade da distribuição de uma variável para diferentes países ao longo dos anos, nota-se que a produtividade do trabalho, com paridade de poder aquisitivo constante no ano de 2011, teve um aumento da desigualdade entre os países de 1996 até 2000, e a partir de então veio caindo consideravelmente, observando uma melhor distribuição da produtividade do trabalho. A desigualdade das emissões por trabalhador das emissões por produto tiveram quedas sucintas ao longo dos anos, enquanto a desigualdade das emissões por estoque de capital, com paridade de poder

aquisitivo constante no ano de 2011, tiveram comportamento bem diferente, com uma elevação até o ano de 2004, e queda a partir de então. As desigualdades nas ofertas totais de energia e nas ofertas de energias não renováveis, ambas por trabalhador, tiveram trajetórias de quedas similares, devido a grande participação de fontes não renováveis no total do fornecimento de energia. Ao observar a trajetória da linha de desigualdade de oferta de energia renovável, nota-se que esta é a inversa das duas últimas, ou seja, quando a desigualdade de oferta de energia renovável cai, a desigualdade de oferta total de energia e de oferta de fontes não renováveis aumenta.

Retomando o que foi visto do início deste capítulo até então, nota-se, assim como Branco (2004), o desenvolvimento energético, ao longo de todos os anos, trouxe junto um elevado custo ambiental. Pois, cerca de 87% da oferta total mundial de energia vem de fontes não renováveis, principalmente de combustíveis fósseis, as quais são responsáveis pela maioria da emissão de gases poluentes, como CO₂, na atmosfera.

Segundo Branco (2004), nos últimos séculos o que se viu foi um aumento na emissão de gases poluentes na atmosfera, poluição de importantes bacias de água, degradação do solo, aumento do efeito estufa, aumento da temperatura média no planeta, entre outros. Juntamente com aumentos nas emissões de gases poluentes, tiveram-se aumentos na produtividade. Este fato foi demonstrado por diversos autores no debate sobre a curva de Kuznets ambiental (CKA), como Stern *et al.* (1996), que demonstra que a curva tem o formato de “U invertido”, ou seja, a degradação ambiental aumenta conforme o nível de renda *per capita* aumenta, até seu ponto de inflexão, evento chamado de “deslocamento”, em que a partir deste ponto o aumento da renda *per capita* reflete uma diminuição da degradação ambiental.

Este aumento da renda *per capita* aliado com a diminuição da degradação ambiental, segundo Brock e Taylor (2004), será possível se ao mesmo tempo ter-se aumentos na produtividade do trabalho e diminuição da oferta de energia de fontes não renováveis por produto. Esta relação pode ser vista nas Tabelas 3 e 4, em que se têm taxas de crescimento positivas para a produtividade do trabalho, e taxas de crescimentos negativas para a oferta de energia não renovável por produto, na maioria dos países. Assim, tendo impactos nas taxas de crescimento das emissões de CO₂.

A diminuição do crescimento da oferta de energia não renovável por produto foi possível devido ao fato de que, nos últimos anos tem-se buscado alternativas mais sustentáveis, como o uso de fontes de energia renováveis, consideradas “limpas”. Essas melhoras no quesito ambiental podem ser vistas nas Figuras 7 e 8.

Portanto, esse aumento da produtividade do trabalho, aliado com a diminuição de oferta de energia não renovável por produto, teve como consequência taxas de crescimento do produto, maiores que as taxas de crescimento das emissões de CO₂ (Figura 6). Como já expresso por Brock e Taylor (2004), que a queda do nível de poluição e o aumento da renda só são possíveis se houver a substituição de tecnologias, para tecnologias consideradas “limpas”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo analisar economicamente a distribuição mundial do uso de energia e sua relação com a distribuição da produtividade do trabalho. O objetivo principal resultou da percepção de que estudos econômicos na área do meio ambiente são poucos pesquisados, principalmente no debate nacional. Além da necessidade de estudar e pesquisar a relação entre as diferentes fontes de energia, com a produtividade do trabalho, devido ao fato que no mundo têm-se diversos países, cada um com sua singularidade, que pode ajudar a explicar esta relação.

Para atingir o objetivo proposto, inicialmente a pesquisa explorou as áreas de crescimento econômico e meio ambientes, fontes de geração de energia e produtividade do trabalho, revizandando alguns dos principais nomes vinculados a literatura.

Como mencionado na revisão de literatura, a economia do meio ambiente é dedicada à compreensão das relações econômicas que afetam diretamente o meio ambiente. Esta possui duas abordagens, Economia Ambiental, a qual, segundo Romeiro (2011), o desenvolvimento de novas tecnologias possibilita a substituição dos recursos naturais (sustentabilidade fraca), portanto não impondo limites absolutos à expansão da economia; por outro lado, a Economia Ecológica, segundo Perman *et al.* (2003), tem uma visão que os recursos naturais têm uma capacidade limitada, e que sua utilização deve ser respeitada, ou seja, o grau de substituição entre os dois tipos de capital, natural e produzido, é limitado e em alguns casos sendo inviabilizado, de acordo com o capital natural disponível (sustentabilidade forte).

Inserido nessas duas abordagens sobre a economia do meio ambiente, foi utilizado neste trabalho conceitos de ambas. A curva de Kuznets ambiental (CKA), demonstrada por Stern *et al.* (1996), pode ser aplicada quando inicialmente se aceitava a degradação ambiental em defesa do crescimento da renda *per capita*, e com o passar do tempo, as questões ambientais passaram a serem vista como questão a ser resolvidas. Para isso, utilizou-se conceitos de Brock e Taylor (2004), os quais ilustram que qualquer modelo de crescimento que preveja tanto a renda crescente quanto a queda dos níveis de poluição, precisa trabalhar para reduzir as emissões de poluentes por meio de um dos três canais, que são: escala, composição e técnica. No que concerne as fontes de energia, a literatura diferencia as fontes não renováveis e renováveis, e que o desenvolvimento energético nos últimos séculos tiveram papel crucial nos aumentos das emissões de gases poluente, principalmente vindo de combustíveis fósseis (BRANCO, 2004), que representam ainda hoje, mais de 80% do total da

matriz energética. Isto pode ser observado nesta pesquisa, em que de 1995 a 2014, os níveis das emissões de CO₂ cresceram ao longo dos anos, acompanhado pelo crescimento da produção.

A abordagem teórica a respeito da produtividade do trabalho, demonstra que esta é parte da produtividade total de um país, e que seu aumento reflete positivamente na produção total. (CUNHA, 2018). Porém, Taylor (2008) desenvolve uma relação do aumento desta produtividade do trabalho, com aumentos na emissão de gases poluentes, chamada de identidade de Kaya. O mesmo decompõe a identidade para explicar como a produtividade do trabalho pode aumentar.

Após a compreensão da relação de crescimento econômico com o meio ambiente, passando pelas fontes de energia e a produtividade do trabalho. Para mensurar e aplicar a técnica estatística escolhida fez-se um levantamento de dados em fontes oficiais para explorar a distribuição do uso de energia, da produtividade do trabalho e das emissões de CO₂, referentes à amostra de países selecionados.

Os resultados obtidos vão de encontro com o que a teoria econômica. Ao passo que, os países buscam aumentar sua renda, e para atingir este objetivo, são observados aumentos nas taxas de crescimento da produtividade do trabalho, que colaboraram para aumentos das emissões de CO₂, ou seja, aumento da degradação ambiental. Fato este mencionado por Taylor (2008) ao estudar a identidade de Kaya. Porém, por outro lado, a substituição, ainda sucinta, de fontes de energia não renováveis “suja”, por fontes renováveis “limpas”, na matriz energética, colaboraram para a diminuição das taxas de crescimento das emissões de CO₂. Como abordado por Brock e Taylor (2004), em que diz-se que é possível ter aumentos na renda per capita aliado com a diminuição da degradação ambiental, se as tecnologias forem substituídas por tecnologias limpas.

Mesmo com uma melhora, ainda pequena, nos aspectos ambientais e econômicos, as taxas de crescimento das emissões de CO₂ continuam positivas, principalmente nos países em desenvolvimento. Muitos países, principalmente europeus, possuem taxas de crescimento das emissões de CO₂ negativas, o que pode ser considerado um grande avanço, porém no agregado global, as taxas de crescimento das emissões continuam positivas. Porém, no agregado essas taxas de emissão de CO₂ cresceram menos do que as taxa de produção. Caso este visto com bom olhos pelos autores da Economia Ambiental.

Portanto, para a Economia Ecológica, avanços devem ser feitos a respeito da diminuição das taxas de crescimento das emissões de gases poluentes, principalmente na substituição de fontes de energia na matriz energética, a qual hoje possui sua maioria em

fontes não renováveis, responsáveis por grande parte da emissão de CO₂ na atmosfera.

Por fim, como sugestão para futuras pesquisas, recomenda-se analisar o Acordo de Paris (2010), compromisso assinado por 195 países, o qual possui metas de diminuição das emissões de CO₂ até o ano de 2030, e assim poder estimar qual deveria ser as quedas das emissões, ano a ano, até ser atingida a meta do acordo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, José Eustáquio Diniz. **Curva Ambiental de Kuznets: mais desenvolvimento é a solução?** (2012). Disponível em < <https://www.ecodebate.com.br/2012/12/19/curva-ambiental-de-kuznets-mais-desenvolvimento-e-a-solucao-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/> > Acesso em 13 ago. 2018.
- BAUMOL, W. J. Macroeconomics of unbalanced growth: the anatomy of urban crisis. **The American Economic Review**, p. 415-426, 1967.
- BANCO MUNDIAL. **World Development Indicators Database**. World Bank, 2018. Disponível em: < <https://data.worldbank.org/> >. Acesso em: 05 set. 2018.
- BRANCO, Samuel Murgel. **Energia e meio ambiente**. Brasil: Moderna, 2004.
- BROCK, W.A; TAYLOR, M.S. **The Green Solow Model**. NBER Working Paper, n.10557, 2004.
- BROCK, William A. e TAYLOR, Michael Scott, **Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics**. 2004 . NBER Working Paper No. w10854. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=609228>NBER
- CUNHA, João Marco Braga. **Produtividade do trabalho**. Departamento de Pesquisa do BNDES, publicado no Diário Comércio, Indústria & Serviços (DCI) em 05.01.2018
- DALY, Herman. **From Uneconomic Growth to a Steady-State Economy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2014.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A, p. 220. 2008.
- GOLDEMBERG, José. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Brasil: EDUSP, 2008.
- GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estud. av. 2007, vol.21, n.59, pp.7-20
- GROSSMAN, G; KRUEGER. A. **Economic Growth and the Environment**. Quarterly Journal of Economics, v.110, n.2, p.353-377, 1995.
- HOFFMANN, Rodolfo. **Distribuição de Renda, Medidas de Desigualdade e Pobreza**. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998. Capítulo 3.
- IEA, International Energy Agency. **Key World Energy Statistics 2016**. 2016. Disponível em :<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf> >. Acesso em: 05 set. 2018.
- JONES, Larry E.; MANUELLI, Rodolfo E. **A Positive Model of Growth and Pollution Controls**. NBER Working Papers n.5205, 1995.
- KHAN, M.E. **A Household Level Environmental Kuznets Curve**. Economics Letters, v.59,

n.2, p.269-273, 1998.

LIRA, S. A.; **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações.** Curitiba, 2004. 196 p. Dissertação (mestrado). Setores de Ciências Exatas e de Tecnologia, UFPR.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2003.

MARTINEZ-ALIER, Juan; SCHLPMANN, Klaus. **Ecological Economics: Energy, Environment, and Society.** Oxford: Basil Blackwell, 1991.

PAGÉS, Carmen (Ed.). **The age of productivity: transforming economies from the bottom up.** [S.l.]: Palgrave Macmillan, 2010.

PANAYOTOU, Theodore. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development.** World Employment Programme Research, Working Paper 238, International Labour Office, Geneva, 1993.

PERMAN, Roger et al. **Natural Resource and Environmental Economics.** 3. ed. Edinburgh Gate: Pearson Education Limited, 2003. 726 p.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Economia ou economia política da sustentabilidade? **Texto Para Discussão. IE/unicamp,** Campinas, v. 1, n. 102, set. 2001.

SOLOW, Robert Merton. The Economics of Resources or the Resources of Economics. **The American Economic Review,** New York, v. 64, n. 2, maio 1974. 15 p.

SQUEFF, G., DE NEGRI, F. **Produtividade do Trabalho e Mudança Estrutural no Brasil nos Anos 2000.** In: DE NEGRI, F, CAVALCANTE, L. (orgs.) *Produtividade no Brasil: Desempenho e Determinantes (Vol 1)*, IPEA, p. 249-280, 2014.

STERN, David; COMMON, Michael S.; BARBIER, Edward. **Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development.** *World Development*, 1996, vol. 24, p. 1151-1160.

STOKEY, Nancy. **Are there limits to growth?.** *International Economic Review.* V.39, p.1-31. 1998.

TAYLOR, Lance. **Energy Productivity, Labor Productivity, and Global Warming.** (2008). Disponível em <
http://www.economicpolicyresearch.org/images/INET_docs/publications/2008/Taylor_Energy_Productivity_Labor_Productivity_Global_Warming.pdf > Acesso em 15 mai. 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** CENERGIA, COPPE-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.